



Universidad  
Carlos III de Madrid

Área de Ingeniería de Organización

PROYECTO FIN DE CARRERA

# Diseño de herramientas de gestión de la producción adaptadas a la industria del recambio del automóvil

Autor: Bastien Guillot

Tutor: Francisco Antonio Rivera

Leganés, Junio de 2012





## Agradecimientos

Quiero agradecer en primer lugar a todos mis compañeros de trabajo de la empresa Valeo de Fuenlabrada que me han enseñado muchísimas cosas, tantas técnicas como humanas. Quiero agradecer a Luis Gonzalez Aranda, Javier Medina, Victor Celis, Christane Moritz-Scheffler, Lynda Villanueva, Oscar Lopez, David Perez y Miguel-Vicente Lujan. Agradezco particularmente Yolanda Legazpe quién me ha ayudado a mejorar mi castellano y Ginez Saura Saura para todo el tiempo que ha dedicado para mí y sin quién nada de este trabajo podría haber sido posible.

También quiero agradecer todos los profesores de la universidad Carlos III de Madrid por la formación de calidad que he recibido y que puse en práctica durante mi experiencia en Valeo. Por supuesto agradezco particularmente mi tutor Francisco Antonio Rivera para el tiempo y los esfuerzos que me ha dedicado y los consejos de muy buena calidad que me ha dado para realizar este proyecto.

Por fin, quiero agradecer a todas las personas que han hecho de mi estancia en España una experiencia extremadamente rica e inolvidable.



## Resumen

La industria del recambio del automóvil tiene características muy distintas de la industria del automóvil dedicada a la fabricación de coches nuevos. Por ejemplo, la demanda es mucho más variable en el caso del recambio del automóvil. En consecuencia, las problemáticas en términos de gestión de la producción son muy distintas y las herramientas de planificación Just In Time estándares, que han sido apoyadas e incentivadas por la dirección de esas empresas automótiles presentan límites. Esas herramientas estándares no dan buenos resultados en el entorno del recambio y es entonces imprescindible desarrollar otras herramientas adaptadas y que permitan una buena gestión de la fabricación en este contexto industrial.

Este proyecto presenta 3 herramientas de gestión de la producción diseñadas a medida para la problemática observada en la planta de Valeo Fuenlabrada. En esta planta, se fabrican embragues mecánicos para el mercado del recambio del automóvil.

De esas 3 herramientas, la primera es un gestor de órdenes autónomo para procesos poco flexibles. Este estudio se basa en el caso concreto de una prensa mecánica. La segunda es un secuenciador de una línea de montaje que programa la producción según los criterios que hemos definido. Por fin, la última herramienta es un método de aprovisionamiento de materiales de las líneas de producción a partir de un stock de consignación.

Todas esas herramientas se basan en los sistemas de información utilizados en la planta.

**Palabras claves** : planificación, gestión, aprovisionamiento, secuenciación, recambio, automoción, base de datos, Valeo.



# Abstract

The car industry of spare parts has very different characteristics than the new car industry. For example, the customer demand is much more changeable in the case of spare parts manufacturing. Consequently, the issues about production scheduling are also different and the standards Just In Time tools, as kanban for instance, which have been launched and encouraged by the direction of these car maker companies have limits. These standard tools are not very efficient in the spare parts industry. That's why it's essential to develop other customized tools which enable a good manufacturing management in this industrial environment.

This project presents 3 customized production scheduling tools which have been developed especially for the Valeo plant in Fuenlabrada. In this plant are manufactured mechanical clutches for the spare parts market.

The first tool is an autonomous order launching manager for little flexible process. It has concretely been developed on a mechanical press. The second tool is a production sequencing tool for a assembly line which tries to schedule the production according to some standards that we have established. Finally, the last tool is a material supply method, to fill plant inventory from a consignment storage.

All these tools have been based on the information systems which are already used in the factory.

**Key words** : production scheduling, production management, production supplying, production sequencing, spare parts, car industry, database, Valeo.







# Índice general

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. INTRODUCCIÓN</b>  | <b>16</b> |
| 1.1. Antecedentes y motivación  | 16        |
| 1.2. Objetivo   | 17        |
| 1.3. Cronología   | 18        |
| <b>2. EL ENTORNO INDUSTRIAL ESTUDIADO</b>   | <b>20</b> |
| 2.1. El grupo Valeo y la planta de Fuenlabrada  | 20        |
| 2.1.1. El grupo Valeo   | 20        |
| 2.1.2. Introducción a la planta y a su producto   | 21        |
| 2.1.3. Los procesos utilizados  | 22        |
| 2.2. Condiciones del uso de herramientas JIT  | 24        |
| 2.2.1. Presentación del JIT   | 24        |
| 2.2.2. Objetivo del JIT   | 24        |
| 2.2.3. Límites del JIT  | 25        |
| 2.2.4. Requerimientos para aplicar el JIT   | 25        |
| 2.3. Las características del mercado del recambio del automóvil y de la planta de Fuenlabrada | 26        |
| 2.3.1. Una demanda muy variable   | 26        |
| 2.3.2. Una demanda de lotes pequeños  | 27        |
| 2.3.3. Numerosos productos complejos  | 27        |
| 2.3.4. Una capacidad limitada   | 28        |
| 2.3.5. Una baja tasa de rotación  | 28        |
| 2.3.6. Disparidad entre los procesos  | 29        |
| 2.4. El papel de los sistemas de información utilizados                                       | 30        |
| 2.4.1. Generalidades sobre un sistema ERP (Enterprise Resource Planning)                      | 30        |
| 2.4.2. El ERP elegido por Valeo, SAP, y su configuración                                      | 30        |
| 2.4.3. El uso de Microsoft Access   | 31        |
| 2.4.4. El papel de SAP para la planificación de la producción                                 | 32        |
| 2.4.5. El papel de Microsoft Access para la planificación de la producción                    | 33        |
| <b>3. HERRAMIENTA 1: SISTEMA DE PLANIFICACION DE UNA PRENSA MECANICA</b>                      | <b>35</b> |
| 3.1. Introducción   | 35        |
| 3.1.1. Antecedentes y motivación para este estudio  | 35        |
| 3.1.2. Objeto del estudio   | 36        |



|             |   |           |
|-------------|---|-----------|
| <b>3.2.</b> | <b>Requerimientos para desarrollar nuestra nueva herramienta</b>                                  | <b>36</b> |
| 3.2.1.      | Emisión de orden de fabricación por tarjeta desde el puesto de trabajo                            | 36        |
| 3.2.2.      | Emisión de órdenes de fabricación con un punto de pedido  | 37        |
| 3.2.3.      | Definición de parámetros para calcular el punto de pedido   | 39        |
| 3.2.4.      | Criterio de emisión y priorización de órdenes de fabricación                                      | 41        |
| 3.2.5.      | Comprobación de la disponibilidad de los recursos necesarios                                      | 43        |
| 3.2.6.      | Contenido y formato de la orden   | 44        |
| <b>3.3.</b> | <b>Diseño de la herramienta de planificación: emisión de órdenes de fabricación</b>               | <b>45</b> |
| 3.3.1.      | Presentación de la herramienta  | 45        |
| 3.3.2.      | Seguimiento de las órdenes gracias a una tabla específica   | 45        |
| 3.3.3.      | Importación de los programas de fabricación   | 46        |
| 3.3.4.      | Selección de las necesidades acumuladas de piezas de corte en el plazo lt                         | 47        |
| 3.3.5.      | Agrupación de las necesidades e integración de los stocks   | 48        |
| 3.3.6.      | Cálculo de las necesidades de lanzamiento de órdenes  | 48        |
| 3.3.7.      | Adjunto de la materia prima y del útil  | 49        |
| 3.3.8.      | Comparación de las órdenes con las ya emitidas del mismo material                                 | 50        |
| 3.3.9.      | Agregación de las nuevas órdenes a la tabla [Órdenes de fabricación]                              | 51        |
| 3.3.10.     | Emisión de las órdenes definitivas  | 52        |
| 3.3.11.     | Generación e impresión de la tarjeta gracias a los informes de Access                             | 52        |
| <b>3.4.</b> | <b>Diseño de la herramienta de planificación: declaración de producción</b>                       | <b>53</b> |
| 3.4.1.      | Recordatorio de la necesidad de declarar  | 53        |
| 3.4.2.      | Interfaz con el usuario   | 53        |
| 3.4.3.      | Operación de declaración realizada  | 54        |
| 3.4.4.      | Precauciones particulares   | 55        |
| 3.4.5.      | Ejecución de estas acciones de precaución gracias a un programa Visual Basic                      | 56        |
| <b>3.5.</b> | <b>Procedimiento de uso</b>   | <b>58</b> |
| 3.5.1.      | Actualización semanal de los programas de fabricación   | 58        |
| 3.5.2.      | Emisión de órdenes de fabricación   | 58        |
| 3.5.3.      | Lanzamiento de las órdenes de fabricación   | 59        |
| 3.5.4.      | Declaración de producción del lote precedente   | 60        |
| 3.5.5.      | Preparación de las próximas órdenes   | 60        |
| 3.5.6.      | Gestión de incidencias  | 61        |
| 3.5.7.      | Resumen del procedimiento de preparación a la fabricación de un lote que debe llevar el operario  | 61        |
| <b>4.</b>   | <b>HERRAMIENTA 2: SECUENCIADOR PARA UNA LINEA DE MONTAJE</b>                                      | <b>63</b> |
| <b>4.1.</b> | <b>Introducción</b>   | <b>63</b> |
| 4.1.1.      | Antecedentes y motivación de este estudio   | 63        |
| 4.1.2.      | Objeto del estudio  | 64        |
| <b>4.2.</b> | <b>Requerimientos para la nueva herramienta</b>   | <b>64</b> |
| 4.2.1.      | Emisión de la orden a través de una tarjeta directamente al operario                              | 64        |
| 4.2.2.      | Deducción de todos los programas de fabricación a partir de los programas de productos terminados | 64        |
| 4.2.3.      | Aprovechar la capacidad y crear inventario a corto plazo  | 65        |
| <b>4.3.</b> | <b>Modelo de secuenciación elegido</b>  | <b>66</b> |
| 4.3.1.      | Definición de los momentos deseados de lanzamiento de órdenes                                     | 66        |



|             |   |            |
|-------------|---|------------|
| 4.3.2.      | Secuenciación de las cargas de las líneas   | 69         |
| <b>4.4.</b> | <b>Diseño de la herramienta : cálculo de las necesidades netas y del momento deseado para lanzar la fabricación</b> | <b>72</b>  |
| 4.4.1.      | Importación de los programas de fabricación y de los stocks   | 73         |
| 4.4.2.      | Cálculo del plazo disponible  | 73         |
| 4.4.3.      | Afectación de este plazo a cada lote de productos terminados  | 75         |
| 4.4.4.      | Deducción de los momentos deseados de lanzamiento de la fabricación de los lotes                                    | 75         |
| 4.4.5.      | Cálculo de las necesidades brutas de productos semi terminados  | 77         |
| 4.4.6.      | Cálculo de las necesidades netas de productos semi terminados   | 77         |
| 4.4.7.      | Actualización de los plazos disponibles   | 80         |
| <b>4.5.</b> | <b>Diseño de la herramienta : determinación de la carga de las líneas</b>   | <b>81</b>  |
| 4.5.1.      | Agrupación de las necesidades por línea   | 81         |
| 4.5.2.      | Preparación de la carga de las líneas   | 81         |
| 4.5.3.      | Cálculo de la cantidad total de cada referencia a producir  | 82         |
| 4.5.4.      | Algoritmo de generación de la secuencia   | 82         |
| 4.5.5.      | Ilustración del algoritmo con un ejemplo  | 90         |
| <b>4.6.</b> | <b>Diseño de la herramienta : presentación de las órdenes de fabricación</b>  | <b>93</b>  |
| 4.6.1.      | Selección de las órdenes válidas  | 93         |
| 4.6.2.      | Creación del formulario   | 94         |
| 4.6.3.      | Integración de la lista de componentes con su ubicación   | 94         |
| 4.6.4.      | Inserción de un espacio para validar el lote  | 95         |
| 4.6.5.      | Acción del botón de validación de lote  | 96         |
| 4.6.6.      | Elementos de navegación entre las diferentes órdenes  | 98         |
| <b>5.</b>   | <b>HERRAMIENTA 3: SISTEMA DE REAPROVISIONAMIENTO A PARTIR DE UN STOCK DE CONSIGNACIÓN</b>                           | <b>99</b>  |
| <b>5.1.</b> | <b>Introducción</b>   | <b>99</b>  |
| 5.1.1.      | Antecedentes y motivación   | 99         |
| 5.1.2.      | Objetivo  | 99         |
| <b>5.2.</b> | <b>Definición de la problemática estudiada</b>  | <b>100</b> |
| 5.2.1.      | Presentación de la problemática   | 100        |
| 5.2.2.      | Presentación del sistema de consignación  | 100        |
| 5.2.3.      | Objeto del estudio  | 101        |
| 5.2.4.      | Organización de los almacenes   | 103        |
| 5.2.5.      | Determinación de la frecuencia de reaprovisionamiento   | 105        |
| 5.2.6.      | Determinación de la cantidad mínima de stock a tener en el almacén de fábrica                                       | 107        |
| <b>5.3.</b> | <b>Diseño de la herramienta: cálculo de las necesidades</b>   | <b>109</b> |
| 5.3.1.      | Presentación de la herramienta  | 109        |
| 5.3.2.      | Obtención de los programas de fabricación   | 109        |
| 5.3.3.      | Agrupación de los programas de fabricación  | 110        |
| 5.3.4.      | Cálculo de las necesidades de componentes   | 111        |
| <b>5.4.</b> | <b>Diseño de la herramienta: cálculo del consumo máximo</b>   | <b>111</b> |
| 5.4.1.      | Definición del consumo máximo   | 111        |
| 5.4.2.      | Ilustración del cálculo de consumo máximo con un ejemplo  | 113        |



---

|             |  |            |
|-------------|--|------------|
| 5.4.3.      | Preparación de los datos antes de realizar los cálculos                              | 115        |
| 5.4.4.      | Descripción detallada del algoritmo  | 117        |
| 5.4.5.      | Algoritmo de cálculo del consumo máximo  | 121        |
| <b>5.5.</b> | <b>Diseño de la herramienta: cálculos secundarios y puesta en forma de los datos</b> | <b>123</b> |
| 5.5.1.      | Selección del máximo del consumo de cada hijo en cada línea                          | 123        |
| 5.5.2.      | Suma de los consumos de diferentes líneas para un mismo hijo                         | 123        |
| 5.5.3.      | Expresión de este consumo máximo posible por caja                                    | 124        |
| 5.5.4.      | Información de ubicaciones para recoger y llevar las piezas                          | 125        |
| 5.5.5.      | Alternativa al bucle: cálculo de las necesidades netas                               | 125        |
| 5.5.6.      | Expresión de la cantidad a llevar  | 127        |
| 5.5.7.      | Lanzamiento de la orden de facturación   | 129        |
| 5.5.8.      | Detección de faltas  | 129        |
| 5.5.9.      | Presentación de los datos  | 130        |
| <b>6.</b>   | <b>PRESUPUESTO</b>   | <b>133</b> |
| <b>7.</b>   | <b>CONCLUSIONES</b>  | <b>135</b> |
| 7.1.        | Una experiencia rica dentro de una gran empresa                                      | 135        |
| 7.2.        | Las herramientas desarrolladas   | 135        |
| 7.3.        | Una mejora de la autonomía de los centros de producción                              | 137        |
| 7.4.        | Una mejora de la eficiencia de los centros de producción                             | 137        |
| 7.5.        | Una ampliación posible y sencilla de este trabajo                                    | 137        |
| 7.6.        | Límites de este trabajo: duplicación de datos y riesgos asociados                    | 138        |
|             | <b>BIBLIOGRAFIA</b>  | <b>140</b> |
|             | <b>ANEXOS</b>  | <b>142</b> |
| I-          | Resumen de los pasos realizados por la base de datos de la herramienta 1             | 143        |
| II-         | Código Visual Basic del algoritmo de la herramienta 1                                | 146        |
| III-        | Algoritmo de secuenciación de la herramienta 2                                       | 148        |
| IV-         | Resumen de los pasos realizados por la base de datos de la herramienta 3             | 153        |
| V-          | Código Visual Basic del algoritmo de la herramienta 3                                | 154        |

## Índice de figuras

|  |    |
|--|----|
| Figura 1: Cronología del proyecto realizado .....  | 19 |
| Figura 2 : Logo de Valeo .....   | 20 |
| Figura 3 : Repartición de la difra de negocio entre los 4 ejes en 2010 .....                           | 21 |
| Figura 4: Embrague Valeo para el mercado del recambio.....   | 22 |
| Figura 5: Organización física de los procesos dentro de la planta de Valeo Fuenlabrada                 | 23 |
| Figura 6 : Número de referencias utilizadas por tipo.....  | 28 |
| Figura 7: Número de referencias distintas que pueden ser procesadas en la misma línea                  | 28 |
| Figura 8: Principales características diferentes entre una prensa mecánica y un puesto de montaje..... | 29 |
| Figura 9: Operación que no realiza la implantación de SAP en Valeo dentro del MPC ..                   | 31 |
| Figura 10: Ejemplo de programas de fabricación .....   | 33 |
| Figura 11: Ejemplo de un sistema con punto de pedido fijo.....   | 38 |
| Figura 12: Ejemplo de un sistema con punto de pedido dinámico e indexado en las necesidades .....      | 39 |
| Figura 13: Plazo de reabastecimiento de piezas de corte.....   | 40 |
| Figura 14: Tabla de presentación del cálculo del punto de pedido dinámico con $l_t = 3$ ...            | 42 |
| Figura 15: Representación de nuestro punto de pedido con $l_t = 3$ .....                               | 43 |
| Figura 16: Diseño de la tarjeta de orden de fabricación .....  | 45 |
| Figura 17: Tabla [Órdenes de fabricación] .....  | 46 |
| Figura 18: Tabla presentando los programas de fabricación .....  | 47 |
| Figura 19: Selección de las necesidades acumuladas de la prensa 1, planificadas el 01/02/2012 .....    | 48 |
| Figura 20: Suma de las necesidades e integración de los stocks .....                                   | 48 |
| Figura 21: Selección y ordenación de órdenes a emitir .....  | 49 |
| Figura 22: Adjunto de la materia prima y del útil.....   | 49 |
| Figura 23: Órdenes pendientes de fabricación.....  | 50 |
| Figura 24: Órdenes de fabricación a emitir.....  | 51 |
| Figura 25: Tabla Órdenes de fabricación actualizada.....   | 52 |
| Figura 26: Órdenes de fabricación definitivas y completas.....   | 52 |
| Figura 27: Interfaz de declaración de producción.....  | 54 |
| Figura 28: Actualización de la tabla de órdenes de fabricación al pulsar el botón "Declarar" .....     | 54 |
| Figura 29: Mensaje de error en el caso que el número de orden escrito no existe .....                  | 55 |



|  |     |
|--|-----|
| Figura 30: Mensaje de error en el caso que la orden escrita ya ha sido declarada .....                                     | 56  |
| Figura 31: Mensaje de confirmación de declaración de producción de un lote.....  | 57  |
| Figura 32: Mensaje de error de compilación del programa Visual Basic.....  | 57  |
| Figura 33 : Interfaz principal de la herramienta de planificación .....  | 59  |
| Figura 34 : Organización de los lotes de fabricación con tiempo disponible y plazo de 3 días .....                         | 66  |
| Figura 35 : Lista de materiales del producto A.....  | 67  |
| Figura 36 : Características de los productos involucrados en el MRP .....  | 68  |
| Figura 37 : Definición de los momentos deseados de lanzamiento de fabricación .....  | 69  |
| Figura 38 : Ejemplo de 3 lotes a producir, con plazos y tiempos .....  | 70  |
| Figura 39 : Secuencia de fabricación de esos tres productos.....   | 71  |
| Figura 40: Secuencia de fabricación modificada para no generar atrasos ulteriormente .                                     | 72  |
| Figura 41 : Información relevante de los programas de cliente para organizar la fabricación.....                           | 73  |
| Figura 42 : Calendario realizado el 15 de diciembre de 2011 .....  | 74  |
| Figura 43 : Correspondencia entre calendario establecido y días laborables .....   | 74  |
| Figura 44 : Programa a planificar agrupado .....   | 75  |
| Figura 45: Necesidades de productos terminados obtenidas con plazos de fabricación...                                      | 76  |
| Figura 46 : Necesidades brutas de productos semi terminados ordenadas .....  | 78  |
| Figura 47 : Necesidades netas de productos terminados ordenadas .....  | 80  |
| Figura 48 : Campos guardados para determinar la carga de la líneas.....  | 81  |
| Figura 49 : Nuevos campos vacíos que se integran a la tabla de carga de línea.....   | 82  |
| Figura 50: Tabla antes de lanzar el algoritmo de secuenciación .....   | 83  |
| Figura 51 : Tabla de presentación del algoritmo .....  | 90  |
| Figura 52 : Tabla de presentación del algoritmo después de fabricar los dos primeros lotes .....                           | 91  |
| Figura 53 : Tabla de presentación del algoritmo después de fabricar el tercer lote.....                                    | 92  |
| Figura 54 : Tabla de presentación del algoritmo después de fabricar el cuarto lote.....                                    | 92  |
| Figura 55 : Tabla de presentación del algoritmo terminada .....  | 93  |
| Figura 56 : Primer vistazo de la orden de fabricación .....  | 94  |
| Figura 57 : Orden de fabricación con lista de componentes .....  | 95  |
| Figura 59 : Validación de la fabricación de un lote .....  | 96  |
| Figura 58 : Orden de fabricación con espacio para validar la fabricación.....  | 96  |
| Figura 60 : Mensaje de petición de confirmación de validación .....  | 97  |
| Figura 61 : Mensaje de error para no validar un lote 2 veces .....   | 98  |
| Figura 62 : Orden de fabricación completa.....   | 98  |
| Figura 63: Proceso de establecimiento de un sistema de aprovisionamiento con stock de consignación .....                   | 102 |
| Figura 64: Objeto del estudio, flujos de reaprovisionamiento interno.....  | 102 |
| Figura 65: Fotografía de estantería dinámica con cajas.....  | 104 |
| Figura 66: Almacenamiento de pallets al suelo o en estanterías .....   | 105 |
| Figura 67: Extracto del cálculo de frecuencias de reaprovisionamiento .....  | 107 |
| Figura 68: Necesidades semanales para cubrir la producción planificada de 7 días con planificación semanal el jueves ..... | 108 |
| Figura 69: Extracto del programa de fabricación .....  | 110 |
| Figura 70: Extracto del programa agrupado .....  | 110 |



---

|  |     |
|--|-----|
| Figura 71: Consumo de componentes C1 y C2 en líneas paralelas simultáneamente ....                               | 112 |
| Figura 72: Campos de la tabla utilizada para calcular el consumo máximo de cada<br>componente .....              | 113 |
| Figura 73: Secuencia de fabricación de lotes y consumo de materia sin realizar cálculos<br>.....                 | 114 |
| Figura 74: Secuencia de fabricación de lotes y consumo de materia después de calcular el<br>consumo máximo ..... | 115 |
| Figura 75: Tabla utilizada para calcular el consumo máximo de cada componente .....                              | 115 |
| Figura 76: Aplicación del algoritmo a las filas 1 y 2.....   | 118 |
| Figura 77: Aplicación del algoritmo a las filas 3 y 4.....   | 119 |
| Figura 78: Aplicación del algoritmo a la fila 5 .....  | 120 |
| Figura 79: Aplicación del algoritmo a la fila 6 .....  | 121 |
| Figura 80 : Tabla para ilustrar el algoritmo .....   | 121 |
| Figura 81: Selección de los consumos máximos por línea .....   | 123 |
| Figura 82: Suma de los consumos de cada línea.....   | 124 |
| Figura 83: Obtención de los bucles.....  | 124 |
| Figura 84: Adjunto de las ubicaciones.....   | 125 |
| Figura 85: Ciclo de reaprovisionamiento externo.....   | 126 |
| Figura 86: Adjunto de los stocks .....   | 128 |
| Figura 87: Determinación del número de cajas a llevar .....  | 129 |
| Figura 88: Cálculo de las cantidades a descontar .....   | 129 |
| Figura 89: Informe de niveles de inventario inferiores al consumo total posible.....                             | 130 |
| Figura 90: informe para el operario logístico .....  | 131 |
| Figura 91: Informe para el team leader de almacén.....   | 132 |

# 1. Introducción

## 1.1. Antecedentes y motivación

Este proyecto se inscribe en el ámbito de una beca realizada en la planta de Valeo Fuenlabrada dentro del departamento de logística/planificación. En esta planta se fabrican embragues mecánicos para el mercado del recambio del automóvil.

Valeo es una empresa multinacional francesa que se dedica al diseño, la fabricación y la venta de componentes para coches y camiones. Es una de las empresas líder en este mercado. Como muchas empresas del sector de la automoción, Valeo utiliza las técnicas de producción Just In Time (JIT) e incentiva su implantación y su desarrollo en todas las plantas del grupo Valeo. Además, el grupo ha desarrollado sus propias técnicas JIT.

También la planta de Valeo Fuenlabrada ha sido presionada para utilizar esas técnicas. Sin embargo, no han dado buenos resultados. ¿Por qué han sido tan exitosas en otras plantas y no funcionan en la de Fuenlabrada? La razón es que esta planta es una de las plantas muy minoritarias del grupo que se dedican a la fabricación de componentes para el mercado del recambio del automóvil y no para la fabricación de vehículos nuevos. La fabricación de componentes para el recambio tiene características diferentes y no cumple las condiciones para aplicar las técnicas JIT con éxito.

La situación actual de la planta de Valeo Fuenlabrada está condicionada por los puntos siguientes:

- ✓ La fabricación de componentes de recambio es minoritaria dentro del grupo Valeo.



- ✓ La competencia es menos dura en el suministro de componentes de recambio que en el de componentes para la fabricación de coches nuevos. Se recibe menos presión por parte de los clientes y el grupo dedica menos recursos a la mejora.
- ✓ No se han desarrollado herramientas estándares para la fabricación de recambios. Muchas operaciones de gestión de órdenes dentro de la planta se hacen entonces a mano y presentan puntos débiles.
- ✓ Ni la dirección del grupo ni la de la planta quiere invertir en el desarrollo de su sistema ERP, SAP, por razones de costo y de uso restringido a una sola planta. En lugar de eso, la dirección de la planta quiere seguir utilizando el software de base de datos que ya se usa ampliamente en la planta : Microsoft Access.

## 1.2. Objetivo

Considerando esas condiciones de partida descritas en el párrafo precedente, el objetivo de este proyecto es desarrollar e implantar herramientas a medida para la gestión de la producción en la planta de Valeo Fuenlabrada. Este objetivo principal se va a desglosar en tres objetivos secundarios que corresponden al diseño de tres herramientas distintas:

- ✓ Herramienta 1: un sistema de gestión de la producción para procesos poco flexibles
- ✓ Herramienta 2: un secuenciador para una línea de montaje
- ✓ Herramienta 3: un sistema de reaprovisionamiento a partir de un stock de consignación

Con esas herramientas se espera dejar la técnica de gestión de la producción actualmente utilizada en la planta. Esta es muy manual e informal, requiere la

dedicación de dos personas enteramente a esta tarea, y está sometida a varios errores que generan faltas.

### 1.3. Cronología

La realización de este proyecto se ha desglosado en las fases siguientes:

- ✓ Introducción a la cultura de Valeo y a las técnicas utilizadas en el grupo
  - Formación interna del Valeo Campus
  - Interacciones con colaboradores de Valeo
- ✓ Descubrimiento del funcionamiento de la planta
  - Introducción a la organización de la cadena de suministro de la planta
  - Introducción a los procesos utilizados, la organización de los puestos de trabajo y de los flujos internos
- ✓ Integración de las actividades de planificación en la planta
  - Formación a SAP
  - Descubrimiento de las técnicas existentes en la planta
- ✓ Expresión de las necesidades funcionales de las herramientas
  - Definición de los requerimientos
  - Elección de criterios
- ✓ Búsqueda de soluciones
- ✓ Formación específica a Access y Visual Basic for Applications

- ✓ Realización de las herramientas
- ✓ Implantación de esas herramientas y formación de los usuarios

El diagrama de Gantt abajo representa la repartición de estas tareas en el tiempo.

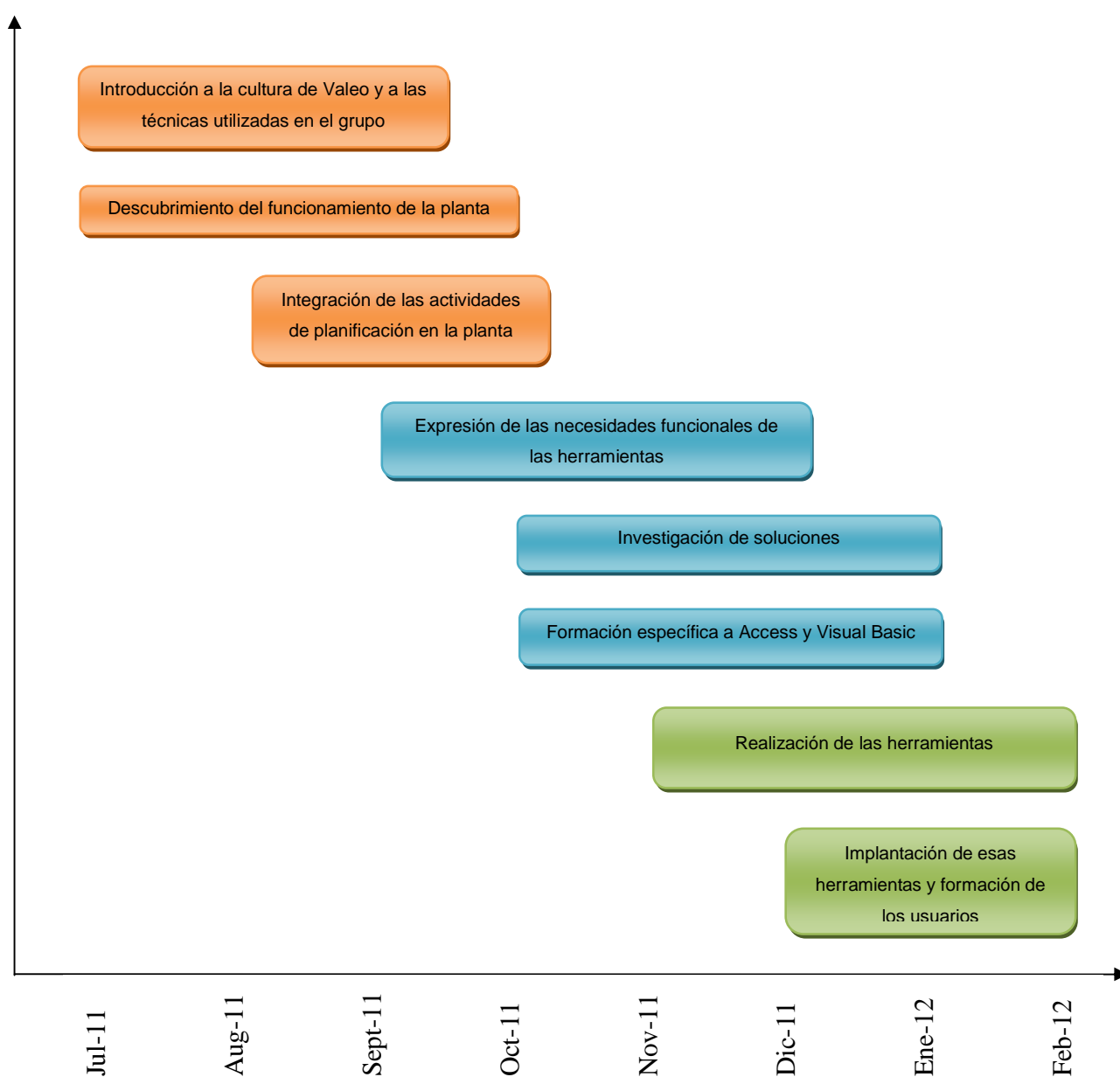


Figura 1: Cronología del proyecto realizado

## 2. El entorno industrial estudiado

### 2.1. El grupo Valeo y la planta de Fuenlabrada

#### 2.1.1. El grupo Valeo

La planta estudiada forma parte del grupo Valeo. Valeo es una multinacional francesa fundada en 1923. Según la página web oficial del grupo, al 31 de diciembre de 2011, la empresa está compuesta por 68 000 colaboradores repartidos en 124 sitios de fabricación, 21 centros de investigación y 40 centros de desarrollo a través todo el mundo. Es un líder mundial en el diseño, la fabricación y la venta de componentes de vehículos utilitarios o industriales.

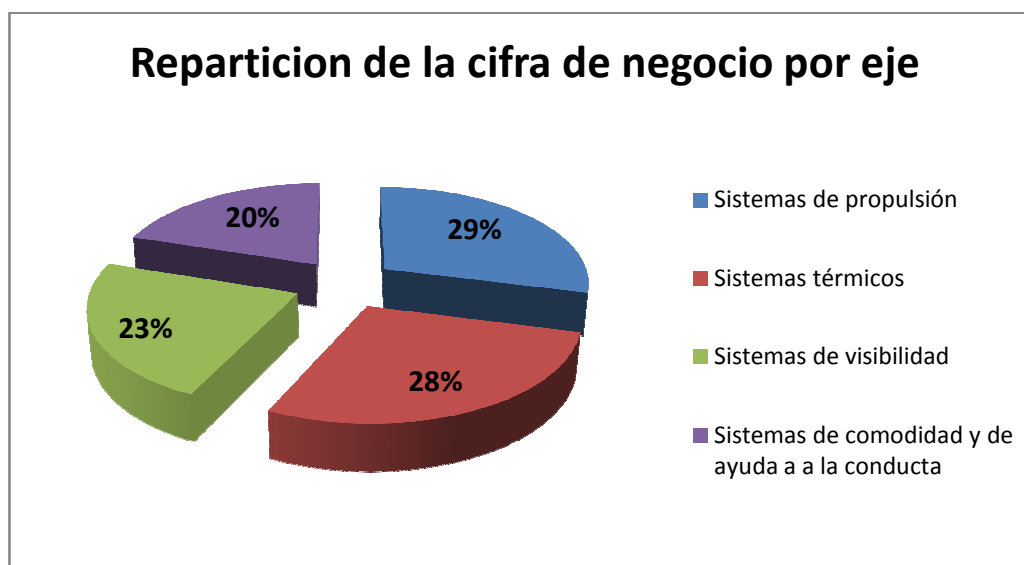


*Figura 2 : Logo de Valeo*

Su actividad se desglosa en 4 ejes principales:

- ✓ los sistemas de propulsión
- ✓ los sistemas térmicos
- ✓ los sistemas de visibilidad
- ✓ los sistemas de comodidad y de ayuda a la conducción

Según el reporte anual de 2011 del grupo, el grupo ha realizado una cifra de negocio de 10,9 mil millones de euros que se reparte entre los 4 ejes de la manera siguiente:



*Figura 3 : Repartición de la cifra de negocio entre los 4 ejes en 2010*

Sus clientes son todos los constructores de coches como Renault, Peugeot, BMW o Volkswagen por ejemplo. Su principal competidor es el grupo Bosh.

### **2.1.2. Introducción a la planta y a su producto**

Este proyecto se ha desarrollado en la planta de Valeo Transmisiones en Fuenlabrada en el sur de Madrid. Forma parte entonces del eje "sistemas de propulsión" del grupo. En esta planta se fabrican embragues mecánicos para vehículos automóviles, coches y motos. La planta trabaja 5 días por semana con 3 turnos. La particularidad de esta planta es que no venden sus productos a constructores de automóviles, para alimentar a las líneas de producción de coches nuevos, lo que se llama OEM (Original Equipment Manufacturer), sino al mercado del recambio.



*Figura 4: Embrague Valeo para el mercado del recambio*

El mercado del recambio del automóvil engloba todos los vendedores que suministran piezas a clientes que necesitan cambiar un componente de su coche, después de un accidente o principalmente en el caso del embrague, por desgaste. Siempre se tiene que cambiar el embrague a partir de 150 000/200 000 km.

### **2.1.3. Los procesos utilizados**

Los diferentes procesos utilizados para fabricar un embrague son:

- ✓ 3 prensas mecánicas: donde se realizan piezas de corte.
- ✓ 3 hornos de tratamientos térmicos y químicos (carbonitrurado y revenido): donde estas piezas reciben un tratamiento térmico para mejorar las calidades mecánicas.
- ✓ Zona de tratamientos superficiales (fosfatado): donde estas piezas reciben una protección contra la corrosión.

- ✓ 5 centros de mecanizado: donde se realizan las piezas mecanizadas
- ✓ 8 líneas de montaje: donde se ensamblan los productos semi-terminados y componentes para formar el embrague.
- ✓ 3 líneas de envasado: donde se envasa el producto terminado, listo para ser expedido luego.

La organización de esos procesos dentro de la planta es la siguiente:

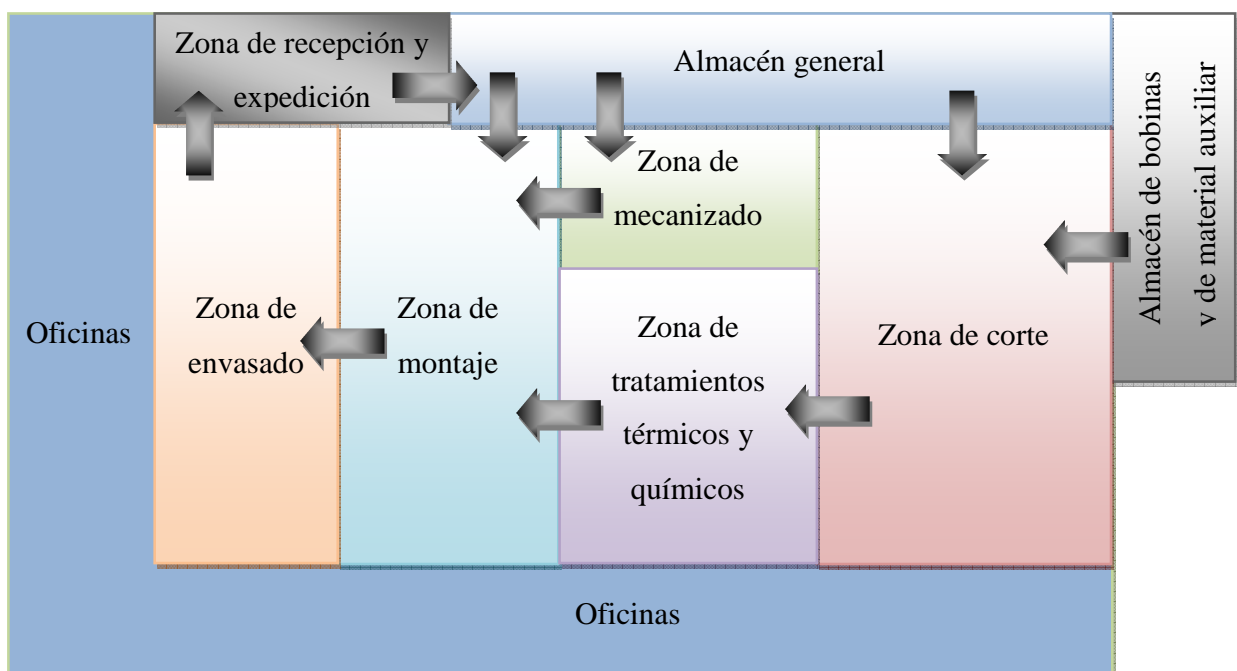


Figura 5: Organización física de los procesos dentro de la planta de Valeo Fuenlabrada

Estos procesos están dispuestos en flujo único. El material pasa una sola vez por uno o varios procesos y nunca vuelve atrás.

Estos procesos son los mismos que los utilizados para suministrar embragues al mercado OEM. Sin embargo, aunque el producto es lo mismo y los procesos utilizados

son los mismos también, este mercado tiene problemáticas muy diferentes de las del mercado OEM.

## **2.2. Condiciones del uso de herramientas JIT**

En esta parte se van a presentar el JIT y enunciar su objetivo. Además, se va a expresar los límites del JIT y los requisitos necesarios para desarrollar un sistema JIT con éxito.

### **2.2.1. Presentación del JIT**

"La década de los años 80 presencié una revolución en las filosofías gerenciales y las tecnologías mediante las cuales se realiza la producción. El principal avance en la filosofía de manufactura es la producción Justo a Tiempo, o Just In Time (JIT). Liderada por los japoneses, la JIT es una serie integrada de actividades diseñada para alcanzar un alto volumen de producción utilizando inventarios mínimos de partes que llegan a la estación de trabajo justo a tiempo." (Chase, 2001, p16)

### **2.2.2. Objetivo del JIT**

"El objetivo del JIT es producir los elementos necesarios en la cantidad deseada en el momento deseado. La finalidad principal de este sistema es eliminar a través de las actividades de mejora varias clases de despilfarro que yacen ocultas en el interior de la empresa. Incluso durante los periodos de crecimiento lento, Toyota consiguió obtener beneficios mediante la reducción de costes a través de un sistema de producción que eliminaba completamente los excesos de existencias y mano de obra." (Monden, 1996, p14)

Monden considera esta revolución tan importante como la dirección científica de Taylor o la cadena de montaje en serie de Ford.



### 2.2.3. Límites del JIT

Sin embargo, el JIT presenta unos límites y no puede establecerse en cualquiera situación.

"EL JIT no es para todos. Muy a menudo en las publicaciones especializadas se da la impresión de que el JIT es una progresión lógica, que se llega lógicamente a él después de instrumentar primero otros enfoques, y que el resultado siempre es maravilloso: inventarios y tiempos de entrega reducidos en un 90 por ciento, mejoras notables en el servicio al cliente, etc. Esto no es el caso. Existen muchas compañías de fabricación a las que se les aconseja que mejor *no* apliquen el JIT." (Vollmann, 2000, p322)

### 2.2.4. Requerimientos para aplicar el JIT

"El JIT se aplica con éxito sobre todo cuando los productos se elaboran en grandes volúmenes, tienen demanda del mercado sin grandes fluctuaciones, diseños relativamente estables, variedad limitada, (al menos en lo que se refiere a la elaboración de los productos), un proceso de control que está bajo control estadístico de proceso, y etapas de procesamiento relativamente sencillas sin utilizar equipo muy oneroso. Cuando no se cumple con estas condiciones, la mayoría de las empresas saben que los sistemas basados en la planeación de requerimientos de materiales proporcionan una mejor alternativa estratégica." (Vollmann, 2000, p294)

Vollmann añade que un sistema JIT también necesita el desarrollo de empleados altamente multiadiestrados, la estandarización de tiempos de procesos de máquinas, y disponer de una sobre capacidad ya que los sistemas JIT no utilizan las capacidades del equipo con tanta intensidad.

"Es decir, por ejemplo, si el conjunto de productos elaborados tiende a ser muy distinto de un producto al siguiente, el mejor enfoque es un sistema MRP con fabricación en lotes. Si existen grandes cambios estacionales drásticos, cíclicos o aleatorios en la demanda, una compañía se da cuenta que necesita enfoques diferentes al JIT. Si los

problemas de calidad u otras alteraciones son una parte normal del ambiente de fabricación, el JIT puede hacer más vulnerable a la empresa. De manera similar, las empresas con equipos muy onerosos con frecuencia desean que la utilización de dicho equipo sea elevada, incluso si esto significa acumular inventarios." (Vollmann, 2000, p294)

En resumen, para establecer un sistema JIT se recomienda tener:

- ✓ Pocas referencias distintas.
- ✓ Programas de fabricación estables.
- ✓ Tiempos de cambio de referencia cortos y controlados.
- ✓ Mano de obra multidisciplinar.
- ✓ Altos volúmenes de producción.
- ✓ Un proceso sin fallo ni problemas de calidad.
- ✓ Una capacidad disponible superior a la utilizada.

En la parte siguiente se detallan las características del mercado del recambio del automóvil, y se verá que esas características no cumplen los requisitos que acabamos de expresar.

## **2.3. Las características del mercado del recambio del automóvil y de la planta de Fuenlabrada**

### **2.3.1. Una demanda muy variable**

Para el mercado OEM, la demanda está definida por los programas de fabricación de los constructores automóviles. Estos se realizan con adelanto y son muy lineales. Por ejemplo, en Toyota "la producción se planea con un horizonte de un año, y se actualiza

cada mes. El programa final de ensamble se congela durante un mes, y el programa diario es idéntico para cada día en términos de los modelos básicos." (Vollmann, 2000, p337)

Al contrario, la demanda de productos de recambio depende de las necesidades de usuarios que rompieron su embrague. Entonces, esta demanda es muy variable. Aunque los clientes hacen pedidos y previsiones, de una semana a otra, un mismo cliente puede realizar grandes variaciones en sus pedidos. La demanda de cliente entonces no se puede controlar perfectamente y se puede difícilmente estimar. Además, tener un stock de productos terminados es muy caro en nuestro caso y como hay muchas referencias, es imposible trabajar con un stock de productos terminados.

### **2.3.2. Una demanda de lotes pequeños**

Mientras para el OEM se realicen series de fabricación relativamente largas, nuestros clientes de artículos de recambio son minoristas que venden artículos de recambio para numerosos modelos de coche y quieren cantidades muy pequeñas. No necesitan productos para asegurar la producción de una serie que han planificado, sino para anticipar las necesidades de sus propios clientes que no son planificadas sino estimadas. Además, como un cliente necesita tener stock de numerosas referencias, como un supermercado, es imprescindible controlar su nivel de inventario y tener pocas cantidades para cada referencia.

### **2.3.3. Numerosos productos complejos**

En esta planta de Fuenlabrada, se fabrican muchas referencias de productos terminados que tienen una estructura diferente. En la tabla abajo se presentan el número de referencias utilizadas de diferentes tipos.

| Productos terminados | Productos semiterminados | Componentes |
|----------------------|--------------------------|-------------|
| 3250                 | 3300                     | 3900        |

*Figura 6 : Número de referencias utilizadas por tipo*

Un embrague fabricado en la planta se desglosa al nivel 1 en 7 productos semiterminados y componentes. La planta de Valeo Fuenlabrada trabaja con 70 proveedores diferentes.

#### **2.3.4. Una capacidad limitada**

En cada una de las líneas de la planta se procesan un número muy alto de referencias. La tabla abajo presenta el número de referencias que pueden ser procesadas en la misma línea.

| Línea de envasado | Línea de montaje | Prensa mecánica |
|-------------------|------------------|-----------------|
| 2800              | 800              | 350             |

*Figura 7: Número de referencias distintas que pueden ser procesadas en la misma línea*

La capacidad de la planta es bastante limitada, particularmente porque hay que organizarla para fabricar este número alto de referencias y realizar muchos cambios de serie.

#### **2.3.5. Una baja tasa de rotación**

Al observar los diferentes coches en la calle, se nota que no todos los modelos se pueden ver con la misma frecuencia. Unos son mucho más raros que otros. El bajo número de unos coches hace que las necesidades son menores y sobre todo que

pueden ser poco frecuentes. La tasa de rotación de unas referencias es entonces muy baja. Varias se fabrican solamente una vez cada año.

### 2.3.6. Disparidad entre los procesos

Todos los procesos utilizados no tienen las mismas características y entonces no tienen las mismas restricciones en términos de planificación. Este aspecto tiene un impacto particularmente importante en nuestro estudio ya que se usan para la fabricación de un mismo producto terminado, procesos con características muy distintas. Por ejemplo, aunque el cliente necesita un lote pequeño, unos procesos tienen un tamaño de lote mínimo muy alto. El cuadro siguiente enseña las diferentes características para una línea de montaje y una prensa mecánica:

|   | Prensa mecánica | Puesto de montaje |
|---|-----------------|-------------------|
| tamaño de lote mínimo                   | 1000 piezas     | 20 piezas         |
| tiempo de cambio de lote                | 1 hora          | 10 minutos        |
| control lote máx                        | no controlable  | definido          |
| tiempo de parada por mantenimiento      | alto            | bajo              |
| Eficacidad del mantenimiento preventivo | baja            | alta              |
| Tiempo de formación de un operario      | 4 días          | 3 meses           |

*Figura 8: Principales características diferentes entre una prensa mecánica y un puesto de montaje*

Así se ve muy claramente que nuestra situación forma parte de las situaciones para las cuales Vollmann recomienda que no se aplique un sistema JIT. Por eso, debemos seguir utilizando otras técnicas y particularmente el MRP. Estas técnicas se basan en los sistemas de información elegidos. Este tema se desarrolla en la parte que viene.

## **2.4. El papel de los sistemas de información utilizados**

### **2.4.1. Generalidades sobre un sistema ERP (Enterprise Resource Planning)**

Un sistema ERP es un sistema de información que integra y maneja muchos de los negocios asociados con las operaciones de producción y de los aspectos de distribución de una compañía en la producción de bienes o servicios. Todos los departamentos funcionales que están involucrados en la operación o producción están integrados en un solo sistema. Además de la manufactura o producción, almacenamiento, logística e información tecnológica, incluyen además la contabilidad.

### **2.4.2. El ERP elegido por Valeo, SAP, y su configuración**

Valeo ha elegido como sistema ERP el desarrollado por la empresa líder en este mercado, SAP. SAP ha sido implantado en la planta de Valeo Fuenlabrada en 2002. Por razón de alto coste y para tener una herramienta estándar, este proyecto de implantación de SAP ha sido liderado por la dirección nacional de Valeo. SAP tiene entonces una configuración común a todas las plantas Valeo de España y no se puede modificar al nivel de la planta. SAP es un software modutable, es decir que eliges los diferentes módulos para realizar diferentes operaciones según las necesidades del cliente. Los módulos que han elegido SAP permiten realizar todas las operaciones del Manufacturing Planning and Control system (MPC) presentado abajo menos las operaciones de "Sistemas taller" como lo enseña la figura siguiente:

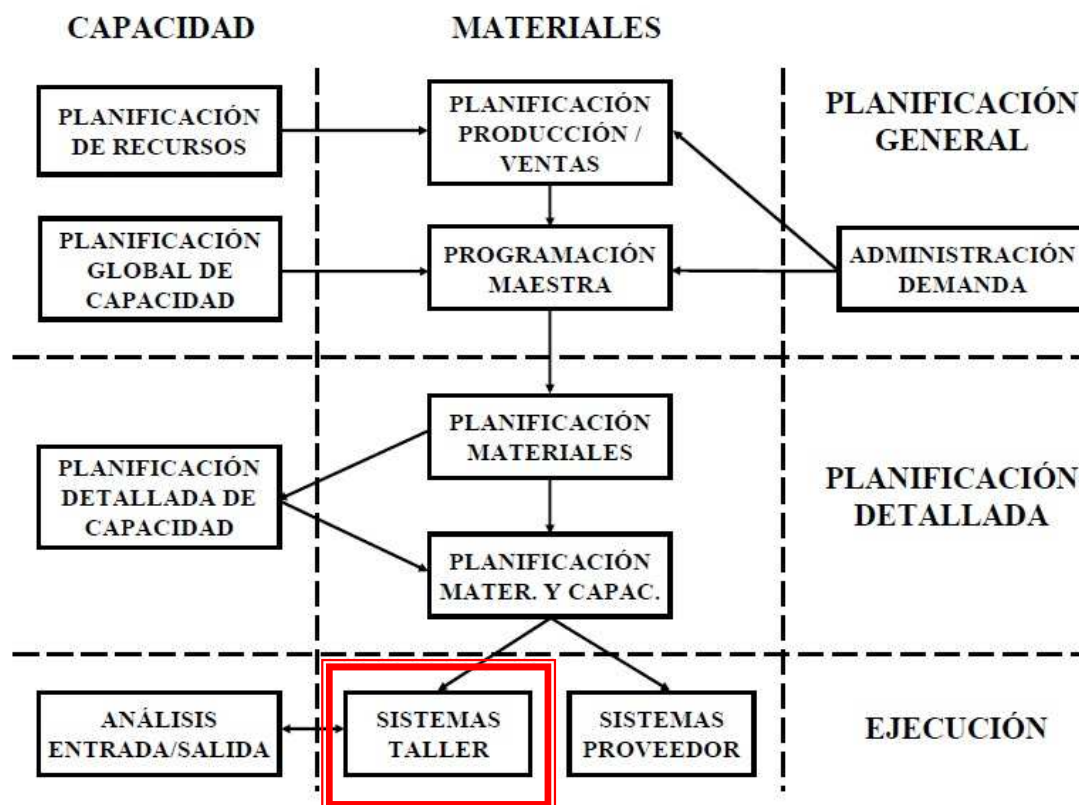


Figura 9: Operación que no realiza la implantación de SAP en Valeo dentro del MPC

Existen también módulos de SAP que permiten realizar las operaciones de "Sistema taller". Sin embargo, Valeo no les ha elegido porque la mayoría de las plantas utiliza las herramientas JIT para realizar estas operaciones.

### 2.4.3. El uso de Microsoft Access

Microsoft Access es el software de base de datos que estaba utilizado antes de que SAP fuera implantado y sigue utilizado para numerosas aplicaciones. Se sigue utilizando en la planta por las razones siguientes:

- ✓ La voluntad de la dirección nacional de Valeo de mantener un sistema ERP estándar para cada planta española.

- ✓ la voluntad de la dirección de la empresa de no invertir en el desarrollo de SAP, ya que es muy costoso al nivel de una planta sola y que ya se utiliza Access y que puede realizar las mismas operaciones.

Así, tanto la dirección nacional como la dirección de la planta quiere que se desarrollen aplicaciones con Microsoft Access para realizar las operaciones de ejecución de la producción.

#### **2.4.4. El papel de SAP para la planificación de la producción**

SAP y el sistema MRP que está incluido dentro permite gestionar la demanda a medio-plazo, la gestión de la capacidad y pedir a los proveedores los componentes deseados según las necesidades calculadas. El MRP se ejecuta una vez a la semana, por la noche del miércoles al jueves y realiza cálculos de necesidades para las 13 próximas semanas.

Después de ejecutarlo, el jueves, la información que nos devuelve SAP es los programas de fabricación diarios para la semana que viene, es decir la cantidad de productos que deben estar fabricados cada día para entregar todos los pedidos a clientes. Esos programas se calculan a partir de los pedidos de clientes y de la capacidad de los centros de trabajo. Estos programas deben estar compuestos de :

- ✓ El material que debe estar fabricado
- ✓ La cantidad de este material que debe estar fabricado
- ✓ La línea en la cual se va a fabricar
- ✓ La fecha de fin de la producción, es decir cuándo tiene que estar terminado

La tabla abajo presenta a qué parecen esos programas de fabricación.



| Línea   | Material   | Fecha de fin | Cantidad ordenada |
|---------|------------|--------------|-------------------|
| Línea 1 | Material 1 | 01/03/2012   | 100               |
| Línea 2 | Material 2 | 06/03/2012   | 50                |
| Línea 3 | Material 3 | 07/03/2012   | 25                |
| Línea 3 | Material 4 | 05/03/2012   | 750               |

*Figura 10: Ejemplo de programas de fabricación*

En esos programas ya se ha nivelado la producción y se ha tenido en cuenta la capacidad de las varias líneas. Sin embargo, esos programas son emitidos y actualizados sólo una vez a la semana y dan información sobre lo que se debe haber producido durante el día, pero no dan información sobre cómo se debe organizar la producción para lograr esos objetivos. Nuestra configuración de SAP no permite una secuenciación de las órdenes de fabricación. En consecuencia, el plan de producción general que nos da SAP no es suficiente para gestionar la producción. Como las herramientas JIT utilizadas en las otras plantas no dan buenos resultados en nuestro caso, desarrollaremos las herramientas necesarias para gestionar la producción con Microsoft Access.

#### **2.4.5. El papel de Microsoft Access para la planificación de la producción**

A partir de esta información dada por SAP, y con la ayuda de aplicaciones Access, dos planificadores se encargan del seguimiento diario de esos programas, es decir de la fabricación a tiempo de los productos. Para eso, tienen que transmitir las órdenes de fabricación a los centros de trabajo considerando esos programas de fabricación determinados por SAP y ajustándolos también teniendo en cuenta:

- ✓ Los atrasos generados durante la semana.
- ✓ La indisponibilidad de materia o de útil.
- ✓ Los pedidos urgentes de clientes no incluidos en los programas iniciales.
- ✓ La indisponibilidad de recursos humanos debida al absentismo.

A pesar de la dedicación de dos personas para esta tarea, esta gestión es compleja y existe una variación entre la producción planificada y la producción real y entonces genera atrasos. Además, si el planificador no envía las órdenes al centro de trabajo a tiempo, los operarios de este centro van a seguir fabricando el material que ya están fabricando, lo que va a generar stock e incluso, posiblemente, obsoletos.

La configuración de SAP no realiza operaciones de secuenciación. Es decir que no realiza operaciones para mejorar el uso de la capacidad de las máquinas. Las aplicaciones Access actualmente utilizadas tampoco pueden hacerlo y es demasiado complejo para el planificador si lo hace a mano. Debido al alto número de referencias procesadas y entonces a los numerosos cambios de útiles, sería interesante establecer un modelo de secuenciación para mejorar la capacidad productiva de las máquinas.

En este proyecto se quiere desarrollar nuevas aplicaciones que permitan facilitar la gestión de la producción, hacerla directamente desde los puestos de trabajo para mejorar la autonomía de los operarios y también reducir los atrasos, los tiempos de cambio de útil, el stock y particularmente los obsoletos.

## 3. Herramienta 1: sistema de planificación de una prensa mecánica

### 3.1. Introducción

#### 3.1.1. Antecedentes y motivación para este estudio

Las prensas mecánicas son procesos particularmente poco flexibles que requieren una atención particular para su gestión. Además, como este proceso se ubica más arriba del flujo, un atraso en este proceso genera atrasos para todos los próximos centros de trabajo. Esta falta de flexibilidad se caracteriza por los rasgos siguientes:

- ✓ El lote de fabricación es extremadamente alto. Mientras las necesidades de una referencia son de 25 piezas, el lote de fabricación es de 1000 unidades. Esto viene de que cuando se pone una bobina en la prensa, tenemos que esperar que toda la bobina sea procesada, no se puede quitar antes.
- ✓ Una indisponibilidad frecuente de los útiles. Los útiles están frecuentemente indisponibles por razón de rotura. Cuando un útil se estropea tiene que estar arreglado. Sólo un matricero puede tratarlo y no siempre está disponible, por ejemplo no hay matricero de turno de noche.
- ✓ La dificultad de parametrizar por MRP. El número de piezas obtenidas por la prensa no se puede conocer con adelanto. Depende de la bobina utilizada y de las piezas que se tiran después de realizar los ajustes. El tamaño del lote depende del tamaño de la bobina. Aunque intentemos que sea siempre la misma bobina, puede ocurrir que las bobinas tienen longitudes diferentes y que entonces el tamaño del lote sea diferente.
- ✓ El stock extremadamente caro. Como el stock de bobinas es muy caro, queremos que este sea mínimo y puede ocurrir a veces que tengamos falta de materia prima.

Todos esos puntos hacen que la solución de gestión de órdenes de esta prensa actualmente utilizada, basada en los programas de fabricación emitidos por SAP el jueves es muy compleja, requiere mucha dedicación por parte del planificador. Este método no da buenos resultados y se quiere mejorar.

### **3.1.2. Objeto del estudio**

A partir de las características del proceso utilizado descritas en el párrafo precedente, el objetivo de este estudio es diseñar una herramienta Access que permita gestionar las órdenes de producción de una prensa mecánica, de manera adaptada a las restricciones del proceso.

Para eso, formulamos los requerimientos presentados abajo.

## **3.2. Requerimientos para desarrollar nuestra nueva herramienta**

En esta parte se presentan las necesidades que tenemos en cuanto a la planificación de esta prensa mecánica y las funciones que la nueva herramienta que vamos a desarrollar debe integrar.

### **3.2.1. Emisión de orden de fabricación por tarjeta desde el puesto de trabajo**

El uso de tarjetas permite un control y ofrece flexibilidad, dos puntos que nos interesan. Tener varias tarjetas dentro de una lista de espera permite un ajuste o una revisión de las prioridades antes de lanzar un lote de fabricación. Estas modificaciones dentro de la lista de espera pueden ser motivadas por factores tales que la variación de necesidades o la indisponibilidad de un útil. Pueden ser llevadas por:

- ✓ El planificador, si quiere modificar las prioridades
- ✓ El operario si encuentra problemas técnicos, como la indisponibilidad del útil o de la materia prima

Una particularidad de nuestro caso es que la cantidad de piezas fabricadas por lote está condicionada por la materia prima. Cuando se lanza un lote, no se puede parar la fabricación hasta que la bobina de acero sea totalmente procesada. En consecuencia, no se conoce el tamaño del lote de fabricación, (o sea el número de piezas exactas que va a producir la prensa), entonces la orden de fabricación no debe mencionar ninguna cantidad de piezas.

Además, queremos que esas tarjetas sean emitidas e imprimidas directamente en el centro de producción por el operario de prensas.

### **3.2.2. Emisión de órdenes de fabricación con un punto de pedido**

No queremos que esta prensa mecánica sea gestionada por MRP porque es complicado parametrizarlo. Como el tamaño del lote es muy alto y cubre muchas necesidades, tener un MRP parametrizado de tipo lote a lote nos daría varias órdenes de fabricación mientras una sería suficiente. Como el tamaño del lote no se conoce, tampoco podemos parametrizar el MRP con un tamaño de lote fijo. Además los programas emitidos una vez a la semana pueden sufrir cambios.

Así, queremos establecer un sistema de reaprovisionamiento de tipo "punto de pedido". Tradicionalmente, el punto de pedido se expresa como "la demanda promedio durante un tiempo de lead time normal, LT más el stock de seguridad.

$$PP = D \times LT + SS$$

donde D = la demanda promedio." (Fogarty, 1991, p221)

Sin embargo, con nuestra baja tasa de rotación, no queremos que este punto de pedido sea fijo y calculado a partir de la demanda promedio sino que dependa de las necesidades de los próximos días. Este punto de pedido deberá ser una función del tiempo.

En un sistema "punto de pedido" una orden está generada cuando el inventario baja y llega por debajo de un cierto nivel. Nosotros vamos a comparar el nivel de inventario de cada referencia con las necesidades acumuladas de esta misma referencia en un cierto plazo. Este plazo será determinado en función del lead time de los productos de corte. Este nivel de stock que lanza una orden de fabricación debe ser dinámico entonces y actualizarse cada día, ya que las necesidades futuras cambian día a día. En las figuras siguientes se presentan las diferencias entre un sistema con punto de pedido fijo, y lo que queremos en nuestro sistema, un punto de pedido dinámico, que dependa de las necesidades futuras.

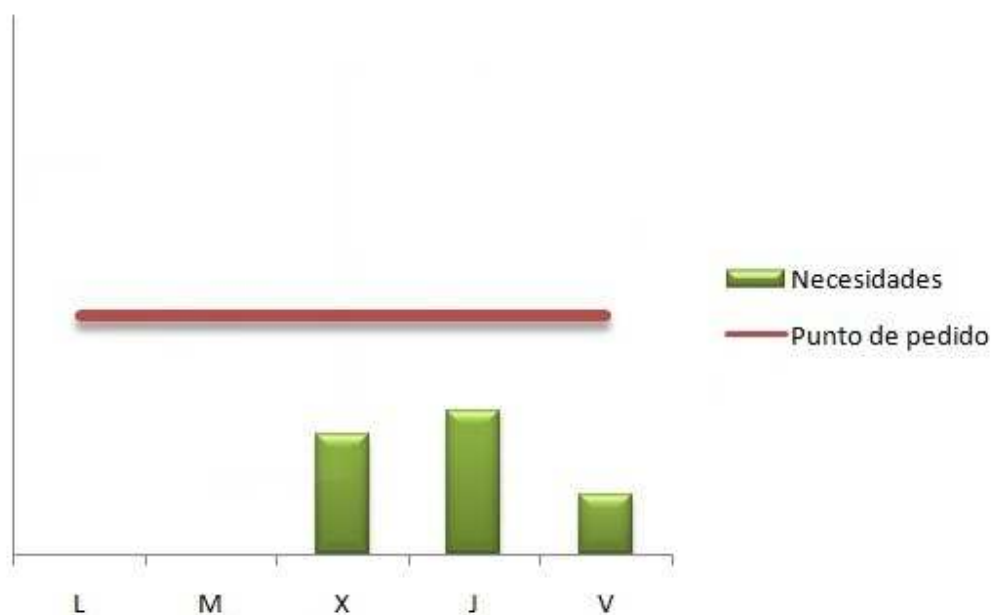


Figura 11: Ejemplo de un sistema con punto de pedido fijo

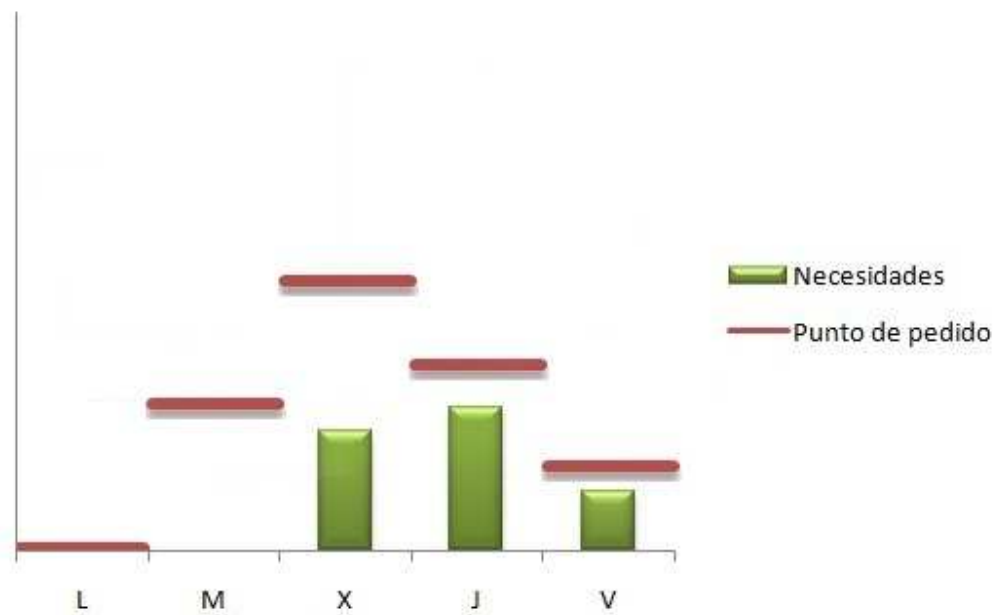


Figura 12: Ejemplo de un sistema con punto de pedido dinámico e indexado en las necesidades

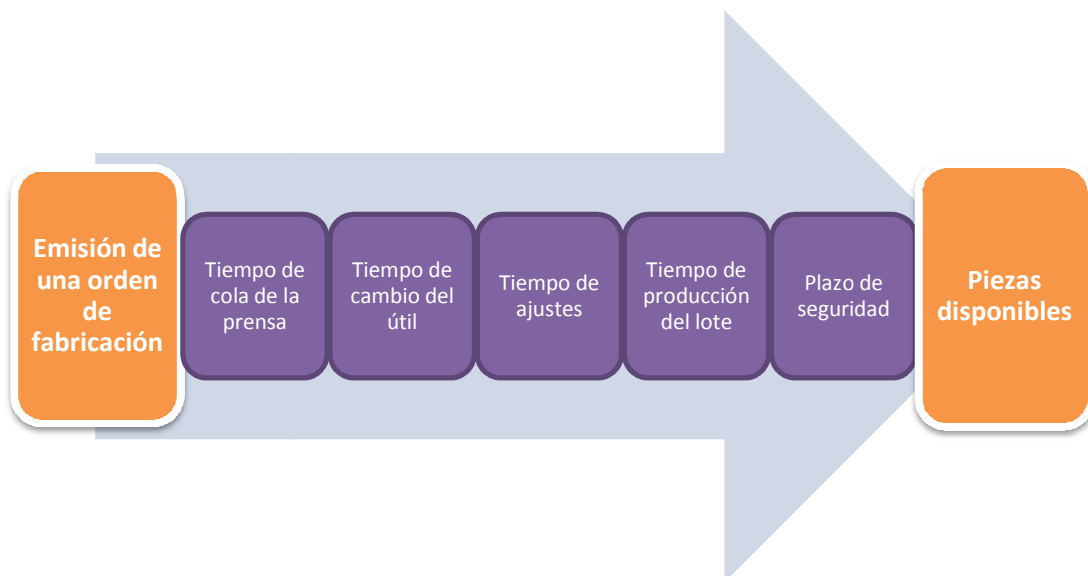
En la figura arriba, el lunes no se quiere pedir nada porque no tenemos necesidades ni el lunes ni el martes. El martes, no hay necesidades pero vamos a considerar las necesidades del día después más un cierto stock de seguridad para calcular el punto de pedido. El miércoles, la suma de necesidades para los próximos días es más importante, por eso el punto de pedido es más alto. Si consideramos que no hay demanda la semana después, las necesidades acumuladas bajan, y entonces el punto de pedido baja también.

### 3.2.3. Definición de parámetros para calcular el punto de pedido

Para calcular el punto de pedido, hemos decidido comparar el inventario con las necesidades futuras contenidas durante un cierto plazo correspondiente al lead time. Para realizar este cálculo, necesitamos definir entonces un par de parámetros que son :

- ✓ El lead time, también el plazo durante el cual vamos a considerar las necesidades de productos.
- ✓ El stock de seguridad.
- **El lead time It**

Vamos a necesitar utilizar un parámetro It que es el lead time, el plazo entre el lanzamiento de la orden de producción y la disponibilidad del lote deseado. Este plazo It debe tener en cuenta unos tiempos presentados en el gráfico abajo.



*Figura 13: Plazo de reabastecimiento de piezas de corte*

En la figura arriba el tiempo de setup está dividido en dos tiempos: el tiempo de cambio de útil y el tiempo de ajustes. Después de haber físicamente cambiado el útil y después de haber lanzado la producción del lote, existe una fase durante la cual la prensa está produciendo pero las piezas producidas no son necesariamente buenas. Durante esta fase, se hacen mediciones en las piezas y ajustes en la máquina. Esta fase no tiene un tiempo estándar y es variable.



Todos esos tiempos no resulten de cálculos sino de la experiencia. Están definidos con los conocimientos de los operarios de prensa que manejan más los varios tiempos y también contratiempos que pueden surgir.

Aunque unos tiempos dependen más de la pieza procesada que del proceso, establecemos un único parámetro para todas las referencias procesadas por la misma prensa. Los operarios de prensa han considerado pertinente fijar un lead time de 3 días. Vamos entonces a trabajar con un lead time de 3 días.

- **Un stock de seguridad ss**

Contrariamente al caso precedente, este parámetro debe estar definido por cada referencia que será procesada por la prensa. Algunas referencias pueden ser consideradas como más críticas y requerir entonces un stock de seguridad más alto, mientras otras necesitan menos precaución. De la misma manera, este parámetro puede ser revisado según necesidades y puede ser igual a 0.

### 3.2.4. Criterio de emisión y priorización de órdenes de fabricación

En lugar de trabajar con la formula de punto de pedido descrita por Fogarty y expresada en la parte 3.2.2, en lugar de trabajar con la demanda media, vamos a expresar el punto de pedido de la manera siguiente:

$$PP(t) = \sum_{i=t}^{t+lt-1} NB(i) + SS$$

donde NB son las necesidades brutas. Es decir que cada vez que se actualiza la planificación de una prensa, y se determinan los próximos lotes a procesar, una orden de lanzamiento debe ser emitida si el nivel de stock actual, es inferior a las necesidades brutas acumuladas entre ahora y el plazo lt, es decir  $t = 0$ , más el stock de seguridad o sea si:

$$\text{Stock físico (0)} < \sum_{i=0}^{lt-1} \text{Necesidades brutas (i)} + ss$$

Las órdenes serán priorizadas según este criterio por orden decreciente, es decir cuánto más grande es la diferencia entre los dos miembros de la desigualdad, más pronto tiene que estar procesado.

Sin embargo, lo que se compara en este criterio es el stock físico y no el stock disponible. Será entonces imprescindible que nuestro sistema compruebe antes de emitir una nueva orden que no haya una orden de fabricación del mismo material ya emitida y pendiente. En efecto, como las cantidades producidas son mucho más superiores que las necesidades, con un lote tenemos suficiente para cubrir todas las necesidades de los próximos días. No se debe emitir una nueva orden entonces.

Abajo se presenta en una tabla las necesidades de una pieza y su punto de pedido. Este es el valor que si el stock de esta pieza está debajo de este valor, se debe generar una orden de fabricación. Cada día se suman las necesidades del día actual más las de los 2 próximos días. Son las necesidades acumuladas de 3 días. A estas, se suma el stock de seguridad, y obtenemos así el valor del punto de pedido.

|                               | L          | M          | X          | J  | V  |
|-------------------------------|------------|------------|------------|----|----|
| Necesidades brutas diarias    | 0          | 0          | 10         | 15 | 5  |
| Necesidades acumuladas 3 días | 10 (L+M+X) | 25 (M+X+J) | 30 (X+J+V) | 20 | 5  |
| Stock de seguridad            | 5          | 5          | 5          | 5  | 5  |
| Punto de pedido               | 15         | 30         | 35         | 25 | 10 |

Figura 14: Tabla de presentación del cálculo del punto de pedido dinámico con  $lt = 3$

Cada vez que se realiza una extracción de los datos de stocks, para cada referencia procesada por la prensa estudiada, si el valor de stock es inferior al valor del punto de pedido, se deberá generar una orden. En el ejemplo de la tabla arriba, si el lunes se

saca un valor de stock de 20, no ocurre nada. Sin embargo, el día siguiente martes, un nivel de stock de 20 va a generar un orden de fabricación.

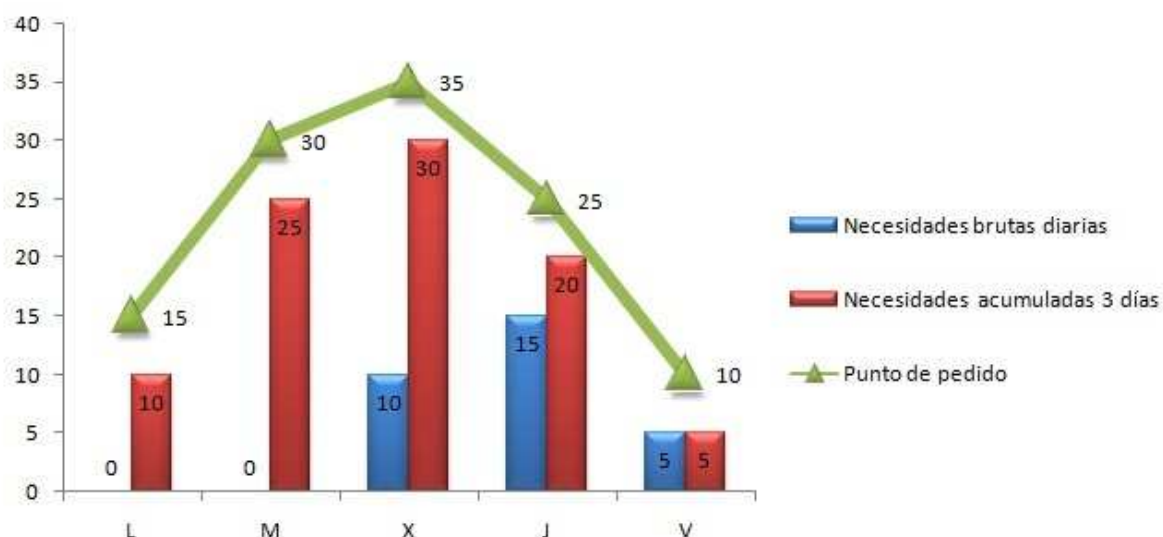


Figura 15: Representación de nuestro punto de pedido con  $lt = 3$

### 3.2.5. Comprobación de la disponibilidad de los recursos necesarios

La mayor razón de parada de la prensa viene de que el útil sea roto. Siempre hay útiles indisponibles, pendientes de ser reparados en el taller de reparación de útiles. Entonces, antes de empezar a preparar la fabricación de un nuevo lote, es imprescindible asegurarse de la disponibilidad de un útil. Este punto es aún más importante si la rotura del útil ocurre durante el turno de noche, cuando no hay personas capaces de arreglarlo, lo que generaría un alto número de horas sin ser capaz de resolver este problema.

Además, hay que asegurarse que dispongamos de la materia prima requerida, la bobina de acero. Se utilizan muchas referencias de bobina de acero y como son extremadamente caras, se intenta restringir el nivel de inventario lo máximo posible. Como montar un nuevo útil tarda bastante tiempo, enterarse que no tenemos la bobina requerida para la

referencia que queremos procesar después de haber montado el útil es una gran pérdida de tiempo y de productividad.

La tarjeta de orden de fabricación deberá entonces hacer figurar un espacio dedicado a la comprobación y la validación de los útiles.

### **3.2.6. Contenido y formato de la orden**

Después de haber expresado los requerimientos anteriores, sabemos qué información deberá estar presente en la tarjeta de emisión de orden y cómo esta información deberá estar organizada. Esta tarjeta debe contener los datos siguientes:

- ✓ Número de orden de fabricación
- ✓ Referencia a fabricar
- ✓ Útil necesario
- ✓ Espacio para comentar el estado del útil
- ✓ Espacio para validar el estado del útil en caso de revisión
- ✓ Materia prima para cortar
- ✓ Espacio para validar la disponibilidad de la materia prima
- ✓ Espacio para validar la disponibilidad de la materia prima en caso de revisión

Esta tarjeta será de tamaño A6, para que se vea bien toda la información y para que se pueda imprimir fácilmente. Abajo se presenta el diseño de esta tarjeta:



| Valeo Transmissions |         | Tarjeta orden de fabricación |                      |
|---------------------|---------|------------------------------|----------------------|
| Número Orden:       | 434     | ¿Validación útil?            | <input type="text"/> |
| Material:           | 6890881 | ¿Revisión útil?              | <input type="text"/> |
| Útil:               | 0202    | ¿Validación bobina?          | <input type="text"/> |
| Bobina:             | 696727V | ¿Revisión bobina?            | <input type="text"/> |
|                     |         | 07/03/2012 11:04:09          |                      |

Figura 16: Diseño de la tarjeta de orden de fabricación

### 3.3. Diseño de la herramienta de planificación: emisión de órdenes de fabricación

#### 3.3.1. Presentación de la herramienta

Por las razones que hemos visto en introducción, esta herramienta se desarrolla con Microsoft Access. Estará ubicada en el servidor de la planta para que los operarios de prensa como los planificadores sean capaces de acceder a esta aplicación. Los diferentes pasos realizados por la aplicación Access están descritos abajo.

#### 3.3.2. Seguimiento de las órdenes gracias a una tabla específica

Para asegurar un seguimiento de las órdenes de fabricación emitidas, y particularmente para saber si un lote ha sido procesado o no y para asignar un número a cada lote,

necesitamos que cada orden de fabricación sea almacenada en una tabla que llamamos [Órdenes de fabricación]. Esta tabla debe contener por lo menos los cuatro campos siguientes:

- ✓ El número de orden, que es un número automático para todos los campos.
- ✓ El material, que es la referencia de las piezas que deben estar procesadas.
- ✓ El estado del lote, que es un campo binario. ¿Ha sido procesado el lote? Sí o no.
- ✓ La fecha de proceso, cuando una orden ha sido declarada como procesada.

| Numero Orden ▾ | Material ▾ | ¿Procesado? ▾                       | Fecha fabricacion ▾ |
|----------------|------------|-------------------------------------|---------------------|
| 446            | Ref 1      | <input checked="" type="checkbox"/> | 07/03/2012 13:11:57 |
| 447            | Ref 2      | <input checked="" type="checkbox"/> | 07/03/2012 13:10:57 |
| 448            | Ref 3      | <input checked="" type="checkbox"/> | 07/03/2012 13:13:32 |
| 449            | Ref 4      | <input type="checkbox"/>            |                     |
| 450            | Ref 5      | <input checked="" type="checkbox"/> | 08/03/2012 12:38:22 |
| 451            | Ref 6      | <input type="checkbox"/>            |                     |
| 452            | Ref 7      | <input type="checkbox"/>            |                     |

*Figura 17: Tabla [Órdenes de fabricación]*

### 3.3.3. Importación de los programas de fabricación

Para emitir las órdenes de fabricación con nuestra herramienta, necesitamos conocer las necesidades brutas de las diferentes referencias a procesar. Este dato lo vamos a sacar de SAP. Para obtener las necesidades brutas de las piezas de corte, sacamos los programas de fabricación de SAP. La tabla abajo representa los programas de fabricación extraídos el día 01/02/2012.

| Referencia a producir | Línea    | Necesidad | Fecha de fin |
|-----------------------|----------|-----------|--------------|
| Ref 1                 | Prensa 1 | 12        | 01/02/2012   |
| Ref 2                 | Línea 2  | 34        | 01/02/2012   |
| Ref 3                 | Línea 1  | 16        | 01/02/2012   |
| Ref 4                 | Prensa 1 | 36        | 02/02/2012   |
| Ref 5                 | Prensa 1 | 22        | 03/02/2012   |
| Ref 6                 | Línea 3  | 12        | 03/02/2012   |
| Ref 1                 | Prensa 1 | 12        | 03/02/2012   |
| .....                 |          |           |              |
| Ref 28                | Prensa 1 | 30        | 08/02/2012   |
| Ref 2                 | Línea 2  | 24        | 08/02/2012   |

Figura 18: Tabla presentando los programas de fabricación

### 3.3.4. Selección de las necesidades acumuladas de piezas de corte en el plazo $lt$

La primera operación que va a realizar esta base de datos es realizar una selección de datos relevantes dentro de los programas globales de producción, es decir guardar únicamente:

- ✓ Las piezas procesadas por las prensas estudiadas.
- ✓ Los programas situados dentro del plazo  $lt$  definido.

Como en este caso trabajamos a partir de un MRP en el cual la división mínima es en días, necesitamos tener un plazo  $lt$  que sea también un número de días. En nuestro caso, ya habíamos elegido un plazo de 3 días. Sin embargo, estos días deben ser días laborables. Si realizamos este cálculo el viernes, necesitamos tener en cuenta las necesidades de hoy, las del lunes y las del martes, y no las del sábado y del domingo ya que no se trabaja esos días y entonces, no hay necesidades. Tendremos que seleccionar dentro de los programas aquellos cuya la fecha de planificación cumplen el criterio siguiente:

*Si hoy es jueves o viernes,      fecha de planificación < fecha de hoy +  $lt$  + 2*

*Si no,      fecha de planificación < fecha de hoy +  $lt$*

Además, tenemos que seleccionar únicamente los programas de fabricación de nuestra prensa.

De la *Figura 18: Tabla presentando los programas de fabricación*, guardamos entonces únicamente los registros que tienen una fecha inferior o igual al 03/02/2012 y para los cuales la línea de fabricación es la estudiada, Prensa 1.

| Referencia a producir | Línea    | Necesidad | Fecha      |
|-----------------------|----------|-----------|------------|
| Ref 1                 | Prensa 1 | 12        | 01/02/2012 |
| Ref 4                 | Prensa 1 | 36        | 02/02/2012 |
| Ref 5                 | Prensa 1 | 22        | 03/02/2012 |
| Ref 1                 | Prensa 1 | 12        | 03/02/2012 |

*Figura 19: Selección de las necesidades acumuladas de la prensa 1, planificadas el 01/02/2012*

### 3.3.5. Agrupación de las necesidades e integración de los stocks

Para tener las necesidades acumuladas dentro del plazo  $l_t$ , tenemos que sumar todas las que hemos seleccionado en el paso precedente. Además introducimos ahora los datos de stocks que tendremos que comparar con esas necesidades acumuladas. Por eso, cada vez que se quiere emitir nuevas órdenes de fabricación, se debe actualizar los stocks y extraerlos de SAP. Además, se necesita otro parámetro para realizar este paso que es el stock de seguridad que hemos definido para cada referencia.

| Referencia a producir | Línea    | Necesidades acumuladas | Stock | Stock de seguridad |
|-----------------------|----------|------------------------|-------|--------------------|
| Ref 1                 | Prensa 1 | 24                     | 21    | 10                 |
| Ref 4                 | Prensa 1 | 36                     | 14    | 5                  |
| Ref 5                 | Prensa 1 | 22                     | 58    | 0                  |

*Figura 20: Suma de las necesidades e integración de los stocks*

### 3.3.6. Cálculo de las necesidades de lanzamiento de órdenes

Una vez que hemos llegado a este punto, debemos comparar estas necesidades con el nivel de stock actual de esas referencias.



El criterio formulado anteriormente se expresa de la forma siguiente.

$$\text{Stock físico} - (\text{Necesidades acumuladas} + \text{Stock de seguridad})$$

Cada vez que este criterio será negativo, una orden de fabricación deberá ser emitida. Además, para priorizar las órdenes de fabricación, estos deberán ser ordenados por criterio creciente.

| Referencia a producir | Línea    | Necesidad | Stock | Stock de seguridad | Criterio |
|-----------------------|----------|-----------|-------|--------------------|----------|
| Ref 4                 | Prensa 1 | 36        | 14    | 5                  | -27      |
| Ref 1                 | Prensa 1 | 24        | 21    | 10                 | -13      |

Figura 21: Selección y ordenación de órdenes a emitir

En la tabla estudiada arriba, el criterio es igual al 36 para la referencia Ref 5, entonces superior a 0. No hace falta emitir una orden para esta referencia, el registro está entonces eliminado. Para Ref 1 y Ref 4, el criterio es negativo en ambos casos. Sin embargo el de Ref 4 es inferior. Debe entonces estar ubicado antes que Ref 1.

### 3.3.7. Adjunto de la materia prima y del útil

Además de esos criterios, necesitamos añadir otras informaciones que tienen que aparecer en la tarjeta. La primera es el útil requerido para procesar el lote. La otra información faltante, que tiene que figurar en la etiqueta es la referencia de la materia prima requerida.

| Referencia a producir | Línea    | Necesidad | Stock | Stock de seguridad | Criterio | Útil   | Materia prima |
|-----------------------|----------|-----------|-------|--------------------|----------|--------|---------------|
| Ref 4                 | Prensa 1 | 36        | 14    | 5                  | -27      | Útil 1 | Bobina 1      |
| Ref 1                 | Prensa 1 | 24        | 21    | 10                 | -13      | Útil 2 | Bobina 2      |

Figura 22: Adjunto de la materia prima y del útil

### 3.3.8. Comparación de las órdenes con las ya emitidas del mismo material

El objetivo de este punto es no duplicar las órdenes que están en el secuenciador. Si una orden del mismo material ha sido emitida el día antes pero no ha sido procesada todavía, esta orden estaría emitida una segunda vez. La consulta que hemos realizado previamente contiene todas las órdenes que deben ser emitidas según el criterio definido, sin consideración de las órdenes que permanecen en el secuenciador. Como la cantidad del lote va a ser muy superior a las necesidades reales, un lote permite cubrir todas las necesidades de los tres próximos días. La orden del mismo material que ya está en el secuenciador es suficiente entonces y no debe ser duplicada. Las órdenes pendientes, las que ya están en el secuenciador no deben ser emitidas una segunda vez entonces trata del mismo material. Para realizar eso, tenemos que identificar esas órdenes pendientes, y luego quitar esas órdenes de la lista obtenida al paso precedente.

- **Identificación de las órdenes pendientes**

Para eso, necesitamos identificar las órdenes que han sido emitidas previamente y que quedan pendientes de fabricar. Esto es posible gracias a una consulta de la tabla de órdenes de fabricación. Esta consulta es sencilla y debe guardar únicamente los registros de la tabla para los cuales el estado del lote definido por el campo binario es "No". Según la tabla presentada en la *Figura 17: Tabla [Órdenes de fabricación]*, obtendríamos los datos siguientes.

| Numero Orden ▾ | Material ▾ | ¿Procesado? ▾            | Fecha fabricacion ▾ |
|----------------|------------|--------------------------|---------------------|
| 449            | Ref 4      | <input type="checkbox"/> |                     |
| 451            | Ref 6      | <input type="checkbox"/> |                     |
| 452            | Ref 7      | <input type="checkbox"/> |                     |

*Figura 23: Órdenes pendientes de fabricación*

- **Eliminación de las órdenes pendientes**

De las órdenes que debíamos emitir determinadas en la parte 3.3.6 *Cálculo de las necesidades de lanzamiento de órdenes*, tenemos que quitar todas las órdenes que están contenidas en la tabla presentada en la *Figura 23: Órdenes pendientes de fabricación*. Así, hemos quitado todas las órdenes que ya están en el secuenciador y pendientes de ser procesadas y sólo nos quedan las nuevas órdenes.

Si seguimos con el ejemplo previamente estudiado, la referencia Ref 4 está presente en la lista de órdenes pendientes de fabricar. Su registro debe entonces estar eliminado. Sin embargo, Ref 1 no está en esta lista. Obtenemos entonces los datos para ser emitidos siguientes :

| Referencia a producir | Línea    | Necesidad | Stock | Stock de seguridad | Criterio | Útil   | Materia prima |
|-----------------------|----------|-----------|-------|--------------------|----------|--------|---------------|
| Ref 1                 | Prensa 1 | 24        | 21    | 10                 | -13      | Útil 2 | Bobina 2      |

*Figura 24: Órdenes de fabricación a emitir*

### **3.3.9. Agregación de las nuevas órdenes a la tabla [Órdenes de fabricación]**

Una vez que tenemos esas órdenes definitivas, debemos añadirlas a la tabla [Órdenes de fabricación]. Al añadir las nuevas órdenes a esta tabla, se va a generar automáticamente para cada registro un número de orden. Recordamos que el estado por defecto del campo ¿Procesado? debe ser “No”. Si añadimos el registro de la *Figura 24: Órdenes de fabricación* , la tabla [Órdenes de fabricación] deviene :

| Numero Orden | Material | ¿Procesado?                         | Fecha fabricacion   |
|--------------|----------|-------------------------------------|---------------------|
| 446          | Ref 1    | <input checked="" type="checkbox"/> | 07/03/2012 13:11:57 |
| 447          | Ref 2    | <input checked="" type="checkbox"/> | 07/03/2012 13:10:57 |
| 448          | Ref 3    | <input checked="" type="checkbox"/> | 07/03/2012 13:13:32 |
| 449          | Ref 4    | <input type="checkbox"/>            |                     |
| 450          | Ref 5    | <input checked="" type="checkbox"/> | 08/03/2012 12:38:22 |
| 451          | Ref 6    | <input type="checkbox"/>            |                     |
| 452          | Ref 7    | <input type="checkbox"/>            |                     |
| 453          | Ref1     | <input type="checkbox"/>            |                     |

Figura 25: Tabla Órdenes de fabricación actualizada

Además de afectar un número para cada orden, este paso también permite actualizar la lista del secuenciador, para que estas órdenes no aparezcan durante la próxima actualización si no han sido procesadas.

### 3.3.10. Emisión de las órdenes definitivas

Antes de terminar, necesitamos añadir el número de orden. Además, guardamos únicamente los registros para los cuales el estado ¿Procesado? es "No". Ahora, se pueden emitir las órdenes definitivas.

| Número de orden | Referencia a producir | Línea    | Necesidad | Stock | Stock de seguridad | Criterio | Útil   | Materia prima |
|-----------------|-----------------------|----------|-----------|-------|--------------------|----------|--------|---------------|
| 453             | Ref 1                 | Prensa 1 | 24        | 21    | 10                 | -13      | Útil 2 | Bobina 2      |

Figura 26: Órdenes de fabricación definitivas y completas

### 3.3.11. Generación e impresión de la tarjeta gracias a los informes de Access

Luego, a partir de la información proporcionada por la última consulta, se generan tantos informes como hay de órdenes. Estos informes tienen la forma de una tarjeta como descrita en la Figura 16: Diseño de la tarjeta de orden de fabricación que se

imprimen automáticamente. Una vez imprimidas, esas órdenes se colocan en el secuenciador.

### **3.4. Diseño de la herramienta de planificación: declaración de producción**

#### **3.4.1. Recordatorio de la necesidad de declarar**

Una vez que se ha fabricado el lote, la tarjeta ya no tiene utilidad. Sin embargo antes de tirarla, hay que indicar a la aplicación que esta orden ha sido procesada. Si esto no se hace, las próximas necesidades de esta referencia no se detectarán y ninguna orden de fabricación podrá ser emitida.

Además de declarar en la base de datos Access, el operario debe también declarar en SAP el número exacto de piezas que se han fabricado.

#### **3.4.2. Interfaz con el usuario**

Cuando el operario quiere declarar un lote, al pulsar el botón “Declarar un lote” en el menú principal, llegará al menú siguiente.

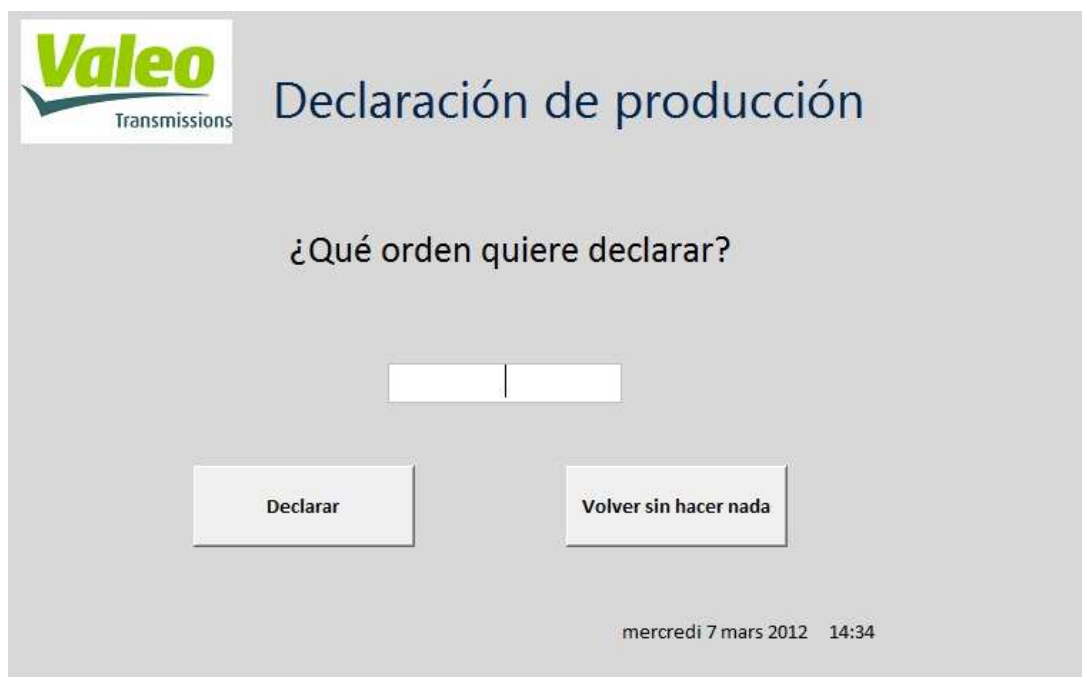


Figura 27: Interfaz de declaración de producción

En este menú, el operario tendrá que indicar el número de lote que quiere declarar, y luego pulsar el botón “Declarar”. El otro botón permite volver atrás al menú precedente.

### 3.4.3. Operación de declaración realizada

Al pulsar el botón "Declarar", la aplicación Access tiene que buscar la orden que tiene el mismo número que el indicado en la zona de texto, cambiar el parámetro binario ¿Procesado?, de No a Sí. Además, tiene que grabar en la celda Fecha de fabricación, la fecha y la hora actual.

| Numero Orden ▾ | Material ▾ | Stock de seguridad ▾ | Util ▾ | Bobina ▾ | ¿Procesado' ▾                       | Fecha fabricacion ▾ |
|----------------|------------|----------------------|--------|----------|-------------------------------------|---------------------|
| 449            | 7026781    | 100                  | 2101   | 698056V  | <input type="checkbox"/>            |                     |
| Numero Orden ▾ | Material ▾ | Stock de seguridad ▾ | Util ▾ | Bobina ▾ | ¿Procesado' ▾                       | Fecha fabricacion ▾ |
| 449            | 7026781    | 100                  | 2101   | 698056V  | <input checked="" type="checkbox"/> | 07/03/2012 13:15:46 |

Figura 28: Actualización de la tabla de órdenes de fabricación al pulsar el botón "Declarar"

### 3.4.4. Precauciones particulares

Sin embargo, al realizar este comando, el usuario puede cometer varios errores que alterarían el buen funcionamiento de esta aplicación Access. Esos errores se tienen que anticipar y se necesita adaptar esta herramienta para que las pueda detectar e informar al usuario. Los errores que puede cometer el usuario y que debemos prevenir son:

- **Intento de declarar una orden que no existe**

El usuario puede querer declarar una orden que no ha sido emitida, por ejemplo la orden 3210 al lugar del 321. Si hace así, en la configuración actual de la aplicación Access, al pulsar el botón declarar, este error no va a estar detectado. La aplicación va a realizar la operación pero esta no va a modificar nada. La orden que queríamos declarar no va a estar declarada y no podemos darnos cuenta de eso. Queremos justamente ser capaz de detectarlo. En este caso, al pulsar el botón Declarar, queremos que la aplicación no realice ninguna operación con los datos sino que solamente emita un mensaje de error gracias a una ventana como la siguiente:

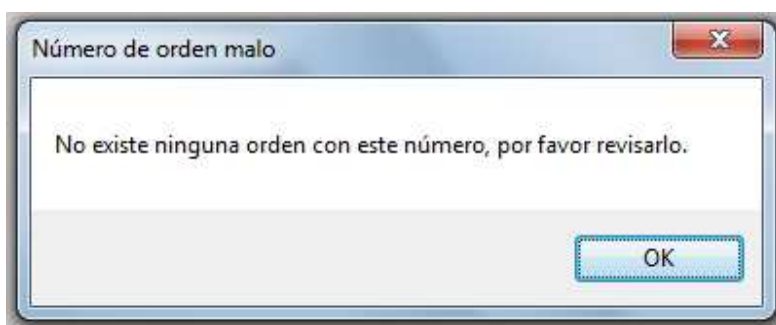
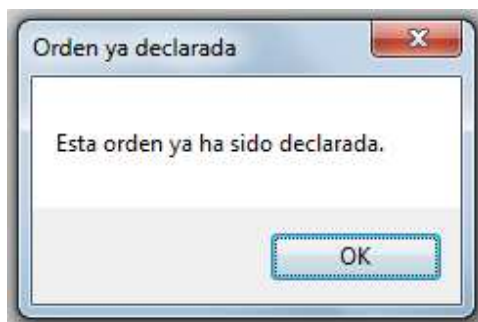


Figura 29: Mensaje de error en el caso que el número de orden escrito no existe

- **Intento de declarar una orden ya declarada**

El operario puede olvidar si ha declarado un lote o no. Si lo vuelve a declarar en esta aplicación otra vez, volverá a actualizar la fecha y la hora a la actual. Eso puede ser sin importancia, pero también puede alterar el seguimiento de la producción de esta prensa.

Con lo cual, la aplicación tiene que impedir al usuario actualizar una segunda vez. En este caso, debe salir otra ventana como la siguiente:



*Figura 30: Mensaje de error en el caso que la orden escrita ya ha sido declarada*

### **3.4.5. Ejecución de estas acciones de precaución gracias a un programa Visual Basic**

La prevención de esos errores posibles se va a hacer gracias a un programa Visual Basic. Este programa va a realizar dos consultas de selección de la tabla [Ordenes de fabricación] y contar el número de registros encontrados. La primera consulta es seleccionar y contar los registros que tiene el mismo número de orden que el número entrado en el formulario. Si este número es 0, es que este número de orden no existe y hay que devolver el mensaje de error adecuado el de la *Figura 29: Mensaje de error en el caso que el número de orden escrito no existe*. Si es 1, seguimos a la segunda consulta.

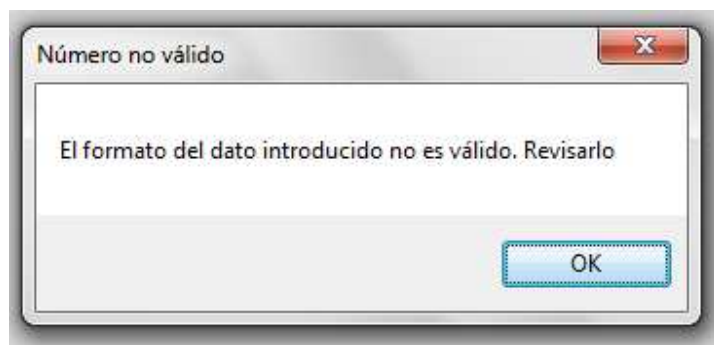
La segunda consulta es seleccionar y contar los registros que tiene el mismo número de orden que el número entrado en el formulario y que tiene como valor para el parámetro ¿Procesado? "No". Si contamos 0 registros, es que este número de orden ya ha sido declarado y hay que devolver el mensaje de error adecuado el de la *Figura 30: Mensaje de error en el caso que la orden escrita ya ha sido declarada*. Si contamos un registro, el lote se declara normalmente y aparece un mensaje de confirmación de declaración como el de la figura siguiente:





*Figura 31: Mensaje de confirmación de declaración de producción de un lote*

Como utilizamos Visual Basic, queremos prevenir también errores que alterarían el funcionamiento de esta aplicación y que además crearían errores durante la compilación del programa Visual Basic. Esos errores son debidos a despistes como introducir una coma o un punto por ejemplo utilizando el teclado numérico, como 23.3 en lugar de 233 por ejemplo. En este caso el operario no debe ver el tipo de error del programa que no lo va a ayudar para nada. Tiene entonces que ver una ventana como la siguiente:



*Figura 32: Mensaje de error de compilación del programa Visual Basic*

El programa completo está presentado en el anexo II.

### **3.5. Procedimiento de uso**

Después de haber descrito cómo funciona la herramienta de planificación utilizada, en esta parte se detallará el procedimiento de utilización de esta herramienta, presentando las tareas ejecutadas por los diferentes actores y particularmente las que deberá seguir el operario y a las cuales habrá que formarlo ya que trabajará en autonomía.

#### **3.5.1. Actualización semanal de los programas de fabricación**

Cada jueves, después de que se realice el MRP y se establezca la nueva planificación, el planificador actualiza los programas de fabricación. Esta operación ha sido descrita previamente y consiste únicamente en extraer los programas de fabricación de SAP y en grabarlos en un fichero Excel que luego será importado en la base de datos. Es la única tarea que realiza el planificador por lo menos en funcionamiento normal, es decir si no surge ninguna incidencia.

#### **3.5.2. Emisión de órdenes de fabricación**

La emisión de nuevas órdenes de fabricación se hace por el operario de prensa dos veces al día, a las 8 y a las 20 horas. Cuando él lanza un nuevo lote en fabricación y así ve que queda solamente una tarjeta en el secuenciador, emite nuevas tarjetas. Para eso tiene que realizar dos pasos.

El primer paso es extraer los stocks de SAP. Es una operación sencilla a la cual el operario debe estar formado. Como para los programas de fabricación, tendrá que grabar estos datos en un fichero Excel que será luego importado en la base de datos.

El segundo paso es pulsar el botón “Emitir nuevas tarjetas” en el menú principal de la base de datos. Esta operación lanza una macro que realiza todos los pasos enumerados en la parte 3.3 y que imprime las tarjetas deseadas. Una vez imprimidas las nuevas tarjetas, el operario la coloca en el secuenciador por orden creciente de número de tarjeta desde arriba hacia abajo.



The screenshot shows the main interface of the 'Herramienta 1' software. At the top left is the 'Valeo Transmissions' logo. At the top right is a 'SALIR' button. Below the logo is a green header bar with the text 'Planificación de la Prensa 1' and the date '03/02/2012'. Below this is a section titled 'PROCEDIMIENTO PARA EMITIR ORDENES' which contains instructions: 'Cada día a las 08:00 y a las 20:00, hay que realizar las operaciones siguientes :', '1 -Realizar la query siguiente en SAP:', and '2 - Pinchar en el botón "Emitir nuevas tarjetas".'. Below the instructions are two large buttons: 'Emitir nuevas tarjetas' and 'Declaración de producción'. At the bottom right is a link for 'Opciones administrador'. The interface also displays SAP transaction details: 'Transacción : SQ01', 'Menú de USUARIO : Z-PDP', 'Query : Z-Stock-G-AV-F', 'Variante : TODOS', and 'Grabar en : H:\Stock'.

Figura 33 : Interfaz principal de la herramienta de planificación

### 3.5.3. Lanzamiento de las órdenes de fabricación

Cuando la prensa ha terminado de fabricar un lote, el operario coge la primera tarjeta en la cola de espera del secuenciador para los cuales la bobina y el útil han sido validados y la coloca en la parte “en proceso” del mismo secuenciador. La validación de esos dos puntos mencionados está detallada en la parte 3.5.5 y 3.5.6. Prepara luego la prensa para fabricar este nuevo lote indicado por la tarjeta y lanza la producción.

### 3.5.4. Declaración de producción del lote precedente

Una vez la producción lanzada, el operario tiene que declarar el lote precedente que viene de ser procesado. Por eso, pulsa el botón “Declaración de producción” del menú principal de la base de datos presentado en la *Figura 33 : Interfaz principal de la herramienta de planificación* y llega al menú presentado en la *Figura 27: Interfaz de declaración de producción*. Entra entonces el número de la orden que acaba de ser procesado como descrito en esta misma parte y pulsa “Declarar”. Ahora tiene que preparar el próximo lote.

### 3.5.5. Preparación de las próximas órdenes

El operario coge la primera tarjeta en la lista de cola. Va a comprobar que el útil para lanzar esta referencia está disponible, es decir que no está en revisión, ni está roto. Si lo está, pone la mención SÍ en verde en la casilla “¿Validación útil?” de la tarjeta. Si no, aplica la mención NO en rojo en esta misma casilla así como la fecha. Si el útil está disponible; realiza la misma operación con la bobina. Si la encuentra en el almacén de bobinas, aplica la mención SÍ en verde en la casilla “¿Validación bobina?”. En el caso contrario aplica la mención NO en rojo así como la fecha. Luego, vuelve a poner la tarjeta en su sitio en el secuenciador. Si el útil o la bobina no están disponible, realiza la misma operación con la tarjeta siguiente. En el momento de lanzar un nuevo lote, el operario coge la primera tarjeta en la lista de cola que tiene el comentario SÍ para los dos controles necesarios, útil y bobina, la ubica en la parte “en proceso” del secuenciador y lanza la producción según los datos indicados en esta tarjeta. Cada vez que una etiqueta llega al principio de la cola de espera, el operario vuelve a realizar esas operaciones.

### **3.5.6. Gestión de incidencias**

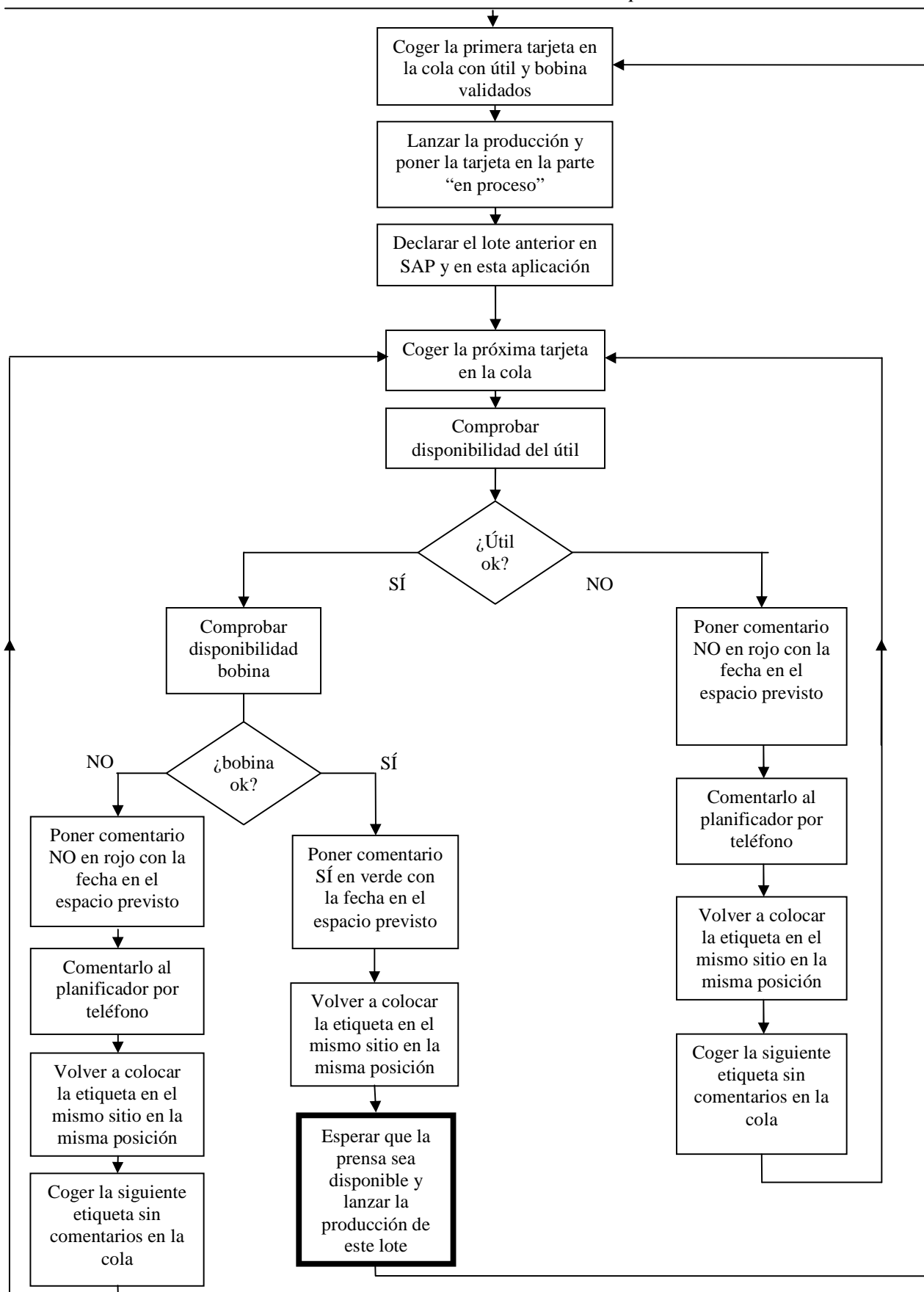
Si falta el útil o la bobina, el operario ya no es autónomo para resolver este problema y necesita comentarlo al planificador. Luego, él se encarga de arreglar esta incidencia con las personas concernidas. Pueden ser:

- ✓ El matricero y responsable de mantenimiento si el útil está fuera de servicio.
- ✓ El aprovisionador si falta la bobina.

Una vez que el planificador ha recibido la información que el problema ha sido resuelto, lo transmite al operario de prensas que puede directamente poner el comentario SÍ en el espacio “¿Revisión útil?” o “¿Revisión bobina?” según la naturaleza de la incidencia.

### **3.5.7. Resumen del procedimiento de preparación a la fabricación de un lote que debe llevar el operario**

Abajo se describe el procedimiento que debe seguir el operario para preparar un lote.



## 4. Herramienta 2: secuenciador para una línea de montaje

### 4.1. Introducción

#### 4.1.1. Antecedentes y motivación de este estudio

Como hemos dicho en introducción, los programas de fabricación que nos da SAP permiten asegurar un seguimiento de la producción pero no permiten gestionar y particularmente secuenciar la fabricación. Los principales inconvenientes que tienen son:

- ✓ Una unidad de tiempo del orden del día, que impide una secuenciación.
- ✓ Una actualización semanal mientras que se requiere una actualización diaria debido a muchas variaciones posibles.

Por eso se han desarrollado herramientas Access para asegurar la gestión y el seguimiento de la producción. Sin embargo, esas herramientas siguen teniendo inconvenientes:

- ✓ Permiten el seguimiento diario de lo que se tiene que producir pero no programa ni secuencia las órdenes de fabricación.
- ✓ La emisión y la gestión de órdenes se hace a mano por un planificador que tiene que llevarlas a los centros de trabajo.
- ✓ Genera bastante atrasos debido a su gestión compleja y al alto número de referencias a procesar.

Como las líneas de montaje son las que procesan más referencias y son las líneas cuello de botella de sistema productivo global, son las que tienen las necesidades más grandes para tener una gestión de órdenes de fabricación mejorada y para que esas sean secuenciadas.

#### **4.1.2. Objeto del estudio**

El objetivo de este estudio es desarrollar e implantar una herramienta de gestión de órdenes de fabricación secuenciadas emitidas directamente en el puesto de trabajo deseado. En un primer lugar, esta herramienta se implantará en una línea de montaje pero una vez que se habrá implantado con éxito, prevemos ampliar su uso a las otras líneas de montaje. Para realizar esta herramienta, vamos a considerar los requerimientos y criterios descritos en la parte siguiente.

### **4.2. Requerimientos para la nueva herramienta**

A partir de estas problemáticas destacadas, formulamos los requerimientos siguientes para realizar la nueva herramienta.

#### **4.2.1. Emisión de la orden a través de una tarjeta directamente al operario**

Como para la herramienta precedente, una orden con formato de tarjeta tiene muchas ventajas ya que el operario tiene toda la información requerida en esta tarjeta. Permite un control visual y flexibilidad en una cierta medida al intercambiar las tarjetas. Además, esas tarjetas deben llegar directamente al operario para que sea totalmente autónomo, no son comunicadas al operario por el planificador.

En consecuencia, la orden deberá ser emitida de manera que el lote sea terminado de fabricar justo cuando este está necesario. Así minimizamos la estancia del inventario dentro de la planta.

#### **4.2.2. Deducción de todos los programas de fabricación a partir de los programas de productos terminados**

Los programas de fabricación indicados por SAP están realizados gracias a un sistema MRP que tiene el día como unidad de medición del tiempo. Para poder secuenciar la fabricación en la línea de montaje estudiada, necesitamos tener una medición de los



tiempos más precisa. En la situación actual, el programa de fabricación de los productos semiterminados no va a sernos muy útil porque es demasiado impreciso.

En efecto, si un producto debe estar terminado el día 01 de marzo de 2012. Puede ser no satisfactorio programar la fabricación de sus componentes el día antes si sólo hace falta 1 hora para realizarlos. Además, si se planifican el mismo día, sin información de hora, no sabemos que el componente debe estar fabricado antes, lo que puede generar riesgos de faltas y hacer aún más compleja la gestión de la producción.

Por eso, queremos que nuestra herramienta de planificación se base en los programas de fabricación de los productos terminados sólo y deduzca luego todas las necesidades de fabricación de los otros productos. Esos programas de fabricación corresponden a los pedidos de clientes después que esos hayan sido alisados y nivelados.

#### **4.2.3. Aprovechar la capacidad y crear inventario a corto plazo**

No vamos a fabricar lotes con un tamaño determinado. Al contrario, queremos que este lote esté condicionado por la utilización de la línea y queremos fabricar inventario a corto plazo si es posible.

Si después de haber procesado un lote de una referencia M, queda tiempo antes de que la próxima orden sea ejecutada y si esta referencia M tiene otras necesidades en un cierto plazo  $t$  a definir, no tendremos que cambiar de lote justo después de haber procesado las necesidades netas sino, después de haber procesado todas las necesidades de este plazo  $t$  o después de haber llegado al momento definido para lanzar el lote siguiente.

Por ejemplo, suponemos una línea en la cual vamos a procesar dos referencias Ref 1 y Ref 2. Suponemos que fabricamos esas referencias con antelación y que queda mucho tiempo antes de entregarlas. Así, después de haber procesado un lote, queda tiempo antes de que la próxima orden sea ejecutada. Consideramos un plazo  $t$  de 3 días. Procesamos el lunes las 10 piezas pedidas de Ref 1. Dentro de los 3 próximos días

incluyendo el lunes (lunes, martes y miércoles), no hay otras necesidades, procesamos entonces el lote siguiente, el de la Ref 2. Dentro de los 3 días, tenemos otra necesidad el miércoles. Como disponemos de tiempo, fabricamos entonces las necesidades de los dos días en el mismo lote.

|       |                        | L  | M | X  | J  | V |
|-------|------------------------|----|---|----|----|---|
| Ref 1 | Necesidades netas      | 10 | 0 | 0  | 10 | 0 |
|       | Órdenes de fabricación | 10 | 0 | 0  | 10 | 0 |
| Ref 2 | Necesidades netas      | 10 | 0 | 10 | 0  | 0 |
|       | Órdenes de fabricación | 20 | 0 | 0  | 0  | 0 |

Figura 34 : Organización de los lotes de fabricación con tiempo disponible y plazo de 3 días

Sin embargo, si el lunes tenemos otras necesidades y no queda tiempo antes de que la próxima orden sea ejecutada, entonces fabricamos únicamente las 10 cantidades del lunes de Ref 2.

En la parte siguiente, vamos a definir más concretamente el tiempo disponible antes de qué la próxima orden deba ser ejecutada y definir el modelo de secuenciación que hemos elegido.

### 4.3. Modelo de secuenciación elegido

#### 4.3.1. Definición de los momentos deseados de lanzamiento de órdenes

Para determinar el momento deseado de lanzamiento de fabricación de un lote, vamos a realizar un MRP individualizado basado en los tiempos estándares. Es entonces más preciso que el MRP de SAP. A partir de nuestros programas de fabricación de productos terminados, de la lista de material de esta referencia y de los tiempos estándares de todos esos productos, vamos a realizar un MRP. El objetivo de este MRP

es determinar el momento deseado para lanzar un lote. Los tiempos estándares utilizados son:

- ✓ El tiempo de preparación del lote, también llamado  $T_{setup}$
- ✓ El tiempo de fabricación unitario, también llamado  $T_{proceso}$

Además de esos tiempos estándares, vamos a añadir un plazo de seguridad propio a cada referencia que vamos a llamar  $T_{seguridad}$ . Este plazo de seguridad tiene como objetivo cubrir los eventuales atrasos de producción.

En el ejemplo abajo, tratamos de un lote de 100 unidades de un producto A. Este lote debe ser expedido al cliente en 48 horas. El producto A tiene la lista de materiales siguiente:

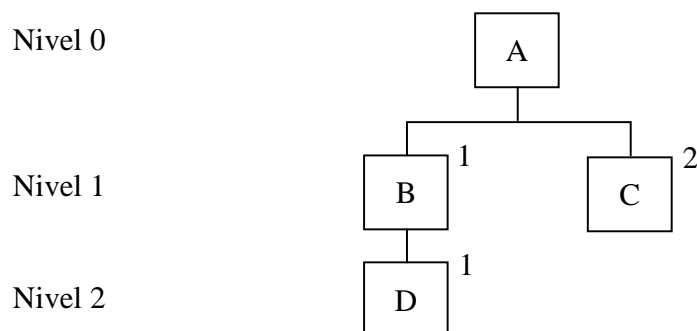


Figura 35 : Lista de materiales del producto A

Cada uno de esos 4 productos tiene características de producción presentadas en el cuadro de la página siguiente. Los tiempos son indicados en horas.



| Producto | tiempo<br>preparación<br>(horas) | tiempo<br>fabricación/unidad<br>(horas) | Cantidad/padre | Necesidad<br>neta | Línea | Plazo de<br>seguridad<br>(horas) |
|----------|----------------------------------|---|----------------|-------------------|-------|----------------------------------|
| A        | 1                                | 0,1                                     | 1              | 100               | L1    | 3                                |
| B        | 2                                | 0,15                                    | 1              | 100               | L2    | 3                                |
| C        | 5                                | 0,1                                     | 2              | 200               | L3    | 6                                |
| D        | 1,5                              | 0,075                                   | 1              | 100               | L4    | 1                                |

*Figura 36 : Características de los productos involucrados en el MRP*

A partir de esas características, después de ejecutar un MRP obtenemos los momentos deseados para lanzar los varios lotes de fabricación. Los números indicados en la figura que viene representan las horas a las cuales esas órdenes deben ser emitidas.

Para que este ejemplo sea más sencillo de entender, consideramos un inventario de los productos A, B, C y D igual a 0.

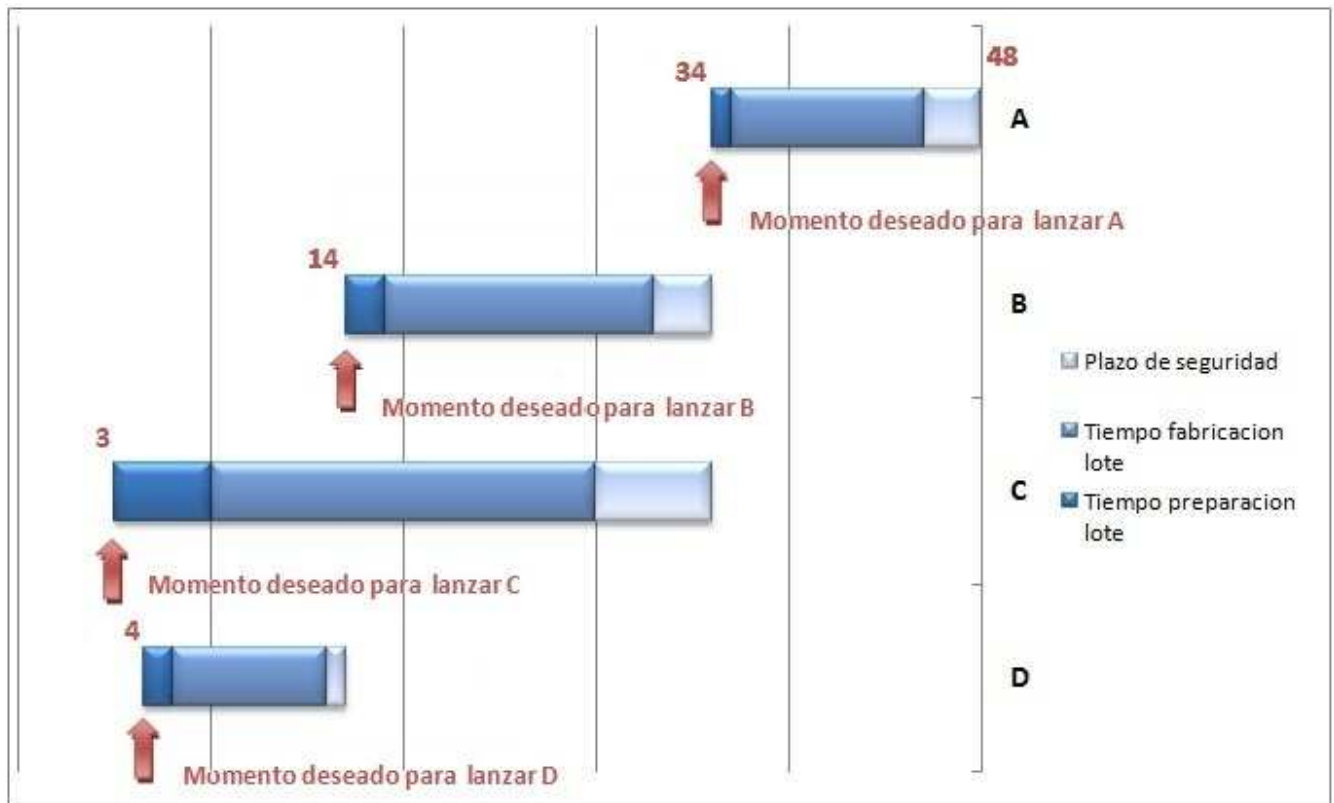


Figura 37 : Definición de los momentos deseados de lanzamiento de fabricación

Así vemos que para que este lote sea listo en 48 horas, teniendo en cuenta los varios plazos de seguridad establecidos, tenemos que lanzar en 34 horas la producción de un lote de 100 unidades en la línea 1. Además, para poder lanzar este lote, debemos lanzar un lote de 100 unidades de producto B en 14 horas en la línea 2, un lote de 200 unidades de producto C en 3 horas en la línea 3 y un lote de 100 unidades de D en 4 horas en la línea 4.

#### 4.3.2. Secuenciación de las cargas de las líneas

Después de haber calculado todos los momentos deseados de fabricación, intentaremos organizar la secuencia de fabricación de cada línea de manera que cada producto sea terminado a tiempo pero también con el propósito de mejorar el uso de las

líneas de fabricación. Para eso, queremos organizar la producción de la manera siguiente.

Después de haber terminado de procesar un lote, si queda tiempo entre este momento y el momento deseado de lanzamiento del lote siguiente y si el producto del primer lote tiene otras necesidades en el periodo en el cual realizamos la planificación, seguimos la fabricación del primer lote hasta lograr, o el momento deseado de lanzamiento de la orden siguiente, o fabricar todas las necesidades de este primer lote.

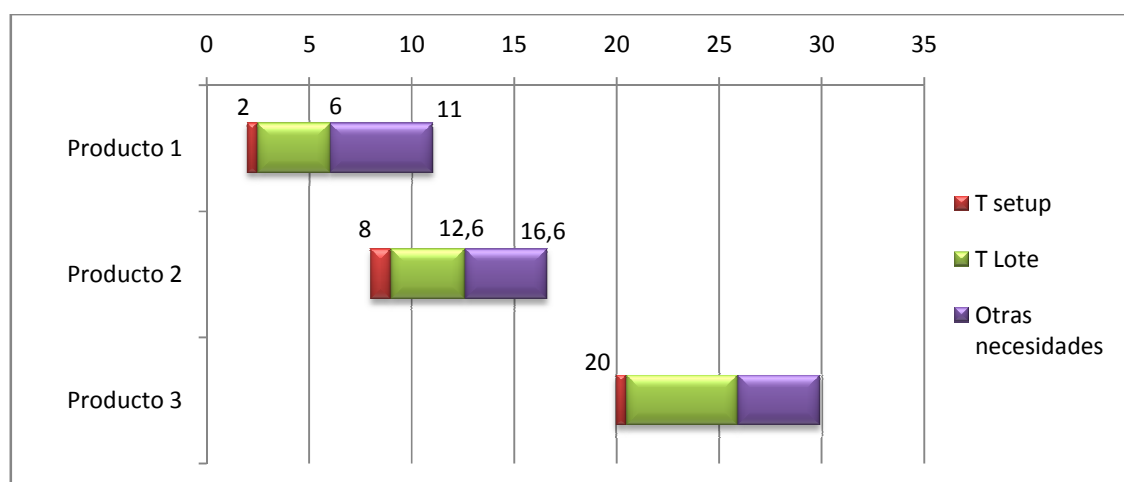


Figura 38 : Ejemplo de 3 lotes a producir, con plazos y tiempos

Si lanzamos el Producto 1 al momento deseado calculado, a la hora 2, el lote estará terminado a la hora 6, antes de llegar al momento deseado de lanzamiento del Producto 2 que es la hora 8. Este Producto 1 tiene otras necesidades dentro del plazo en el cual se planifica la producción que llegan a la hora 11. Este Producto 1 debe entonces estar fabricado hasta la hora 8, cuando se lanza el Producto 2.

El próximo lote debe ser lanzado a la hora 20 como muy tarde. Queda entonces tiempo para seguir fabricando el Producto 2. Este Producto 2 tiene otras necesidades hasta llegar a la hora 16,6. Fabricamos entonces todas las necesidades del Producto 2, y lanzamos la producción del Producto 3 justo después. Recordamos que esta línea es

una línea cuello de botella, y entonces no queremos que tenga huecos. Por eso adelantamos la producción. La secuencia deviene entonces:

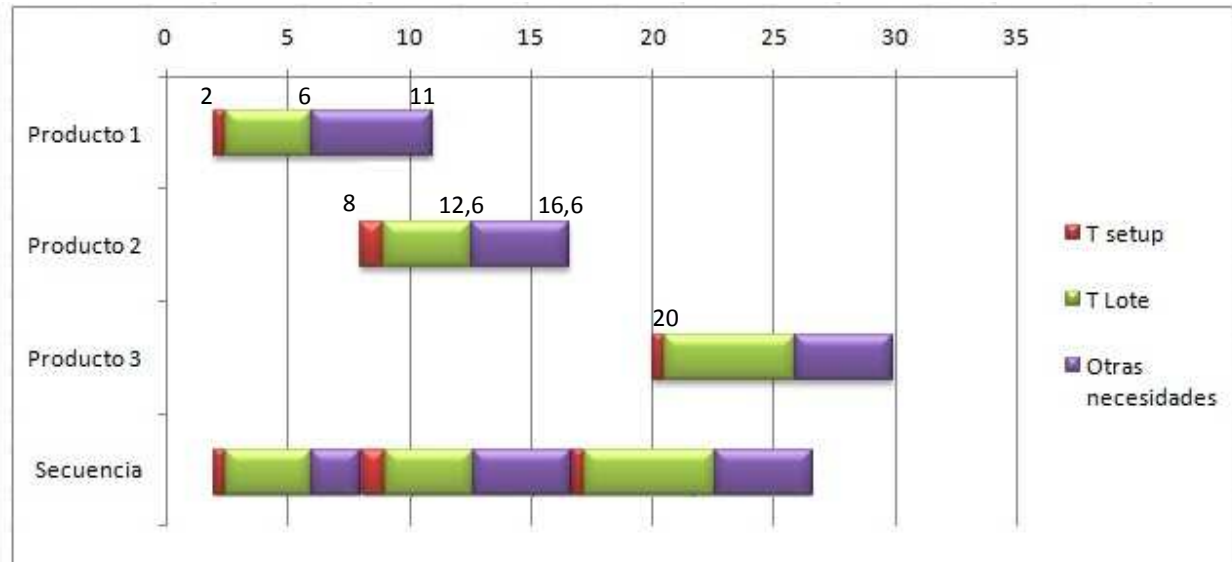


Figura 39 : Secuencia de fabricación de esos tres productos

Sin embargo, es posible que al fabricar más productos cuando tenemos tiempo libre, generamos atraso para la fabricación de lotes posteriores. Ahora si por ejemplo el momento deseado de lanzamiento del lote del Producto 3 es en 12 horas al lugar de 20, la secuencia de producción va a ser modificada de la manera enseñada en la figura siguiente.

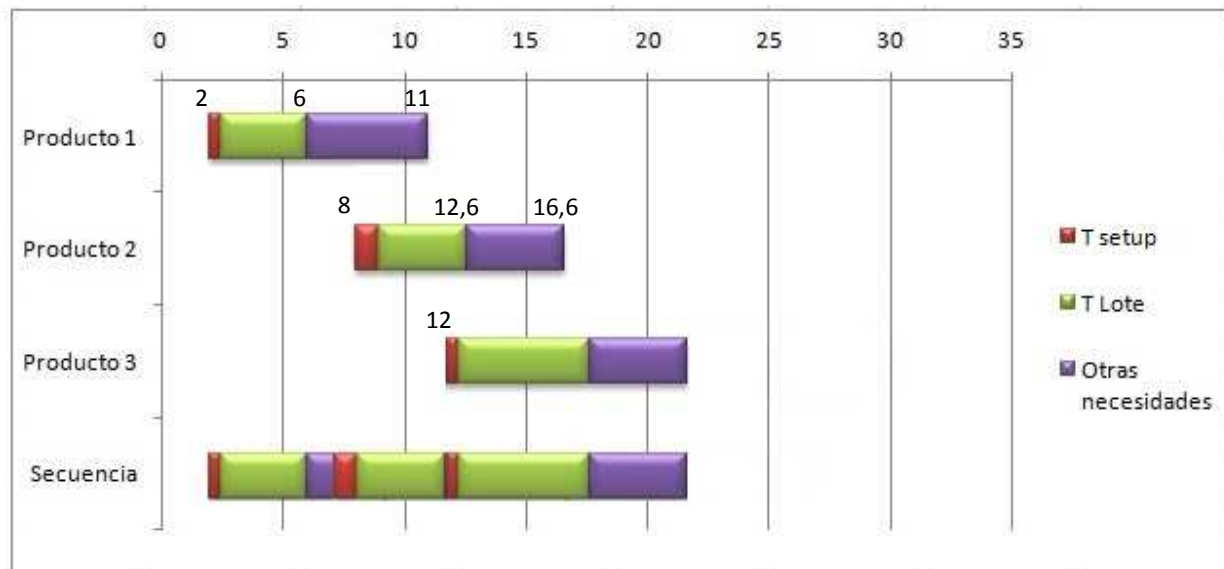


Figura 40: Secuencia de fabricación modificada para no generar atrasos ulteriormente

En efecto, después de fabricar el primer lote, seguimos teniendo tiempo disponible para seguir fabricando el Producto 1 hasta llegar al momento deseado de lanzamiento de fabricación del lote siguiente. Sin embargo, si hacemos así, terminamos de fabricar el lote del Producto 2 en 12,6 horas mientras que el momento deseado de lanzamiento de la producción es en 12 horas. Tendríamos atraso para lanzar la fabricación del Producto 3. Queremos entonces fabricar menos de Producto 1, adelantar la fabricación del Producto 2 para no generar atrasos para la fabricación del Producto 3 como lo enseña la *Figura 40: Secuencia de fabricación modificada para no generar atrasos ulteriormente*.

#### 4.4. Diseño de la herramienta : cálculo de las necesidades netas y del momento deseado para lanzar la fabricación

En esta parte se precisan los pasos que debe realizar la base de datos para lograr los objetivos fijados presentemente.



#### 4.4.1. Importación de los programas de fabricación y de los stocks

Queremos que toda la fabricación sea pilotada por los programas de fabricación de productos terminados. Por eso, necesitamos extraer estos programas de SAP e importarlos en Access. Además, como el plan de fabricación debe depender de las necesidades netas de productos, necesitamos también, en el mismo tiempo extraer los stocks e importarlos en Access. Para cada pedido de cliente, solamente tres informaciones nos interesan para organizar la producción, son:

- ✓ La referencia del producto pedido
- ✓ La cantidad de este producto
- ✓ La fecha de salida, a la cual el producto debe ser expedido

| Material   | Cantidad pendiente | Salida mercancías |
|------------|--------------------|-------------------|
| Material 1 | 18                 | 15/12/2011        |
| Material 2 | 27                 | 16/12/2011        |
| Material 3 | 27                 | 16/12/2011        |
| Material 2 | 27                 | 19/12/2011        |
| Material 4 | 36                 | 20/12/2011        |

Figura 41 : Información relevante de los programas de cliente para organizar la fabricación

#### 4.4.2. Cálculo del plazo disponible

Para cada referencia, no queremos razonar en términos de día al cual un producto debe ser emitido sino en número de días laborables disponibles hasta que este producto deba estar listo. Para esto, necesitamos convertir entonces todas las fechas en números de días que correspondan al número de días laborables entre la fecha a la cual se realice este cálculo y la fecha de salida de los productos. Una diferencia entre fechas no es válida ya que entre el jueves 15 de diciembre y el lunes 19 de diciembre son 5 días, pero solamente 3 se trabajan. Para poder descontar tanto todos los fines de semana como los días de festivos, que no siguen ninguna regla particular, vamos a crear un calendario basado en las fechas de salida del programa siguiente.

- **Creación de un calendario**

A partir de los programas de cliente extraídos, creamos una nueva tabla que llamaremos [Calendario] en la cual escribimos una sola vez, todas las fechas contenidas en los programas ordenadas por orden creciente a partir de la fecha del día después de hoy. Así, si hoy es jueves 15 de diciembre de 2011, la tabla de pedidos descrita en la *Figura 41 : Información relevante de los programas de cliente para organizar la fabricación* nos devolverá la tabla calendario siguiente:

| Fecha      |
|------------|
| 16/12/2011 |
| 19/12/2011 |
| 20/12/2011 |

*Figura 42 : Calendario realizado el 15 de diciembre de 2011*

Como los días laborables ya han sido configurados en SAP, todos estos días son justamente únicamente los días laborables y entonces los que nos interesan.

- **Establecimiento de la correspondencia entre fecha y número de días**

Una vez que tenemos todas estas fechas en una tabla, solamente vamos a insertar en esta tabla un contador que llamaremos "día". Como hay pedidos todos los días laborables, obtenemos así para cada fecha el número de días que le corresponde. La tabla calendario deviene entonces:

| Fecha      | día |
|------------|-----|
| 16/12/2011 | 1   |
| 19/12/2011 | 2   |
| 20/12/2011 | 3   |

*Figura 43 : Correspondencia entre calendario establecido y días laborables*

#### 4.4.3. Afectación de este plazo a cada lote de productos terminados

Una vez obtenidos esos días, los añadimos a la tabla de programas de fabricación y creamos así la correspondencia entre las fechas de pedido y los días disponibles. Creamos un nuevo campo llamado *Plazo terminado*. Si la fecha de salida es inferior o igual a la fecha de hoy, a este campo le atribuimos el valor de 0. En el caso contrario, le atribuimos el número que corresponde a esta fecha como indicada en la tabla calendario. Luego, multiplicamos este número por 24 para convertir este plazo en horas. Si seguimos con la tabla de pedidos a clientes utilizada previamente, esta consulta nos da:

| Material   | Cantidad pendiente | Salida mercancías | Plazo terminado |
|------------|--------------------|-------------------|-----------------|
| Material 1 | 18                 | 15/12/2011        | 0               |
| Material 2 | 27                 | 16/12/2011        | 24              |
| Material 3 | 27                 | 16/12/2011        | 24              |
| Material 2 | 27                 | 19/12/2011        | 48              |
| Material 4 | 36                 | 20/12/2011        | 72              |

Figura 44 : Programa a planificar agrupado

Ahora que conocemos el plazo que disponemos hasta expedir todos los lotes de productos terminados, podemos organizar todo el plan de fabricación, de manera que esos plazos sean respetados, con los criterios comentados en la parte 4.3 *Modelo de secuenciación elegido*.

#### 4.4.4. Dedución de los momentos deseados de lanzamiento de la fabricación de los lotes

Ahora que sabemos de cuánto tiempo disponemos para que esos productos estén terminados y expedidos, queremos deducir los momentos deseados de lanzamiento de órdenes definidos en la parte 4.3.1 para así conocer el plazo que disponemos para lanzar la producción de este lote. Para cada referencia utilizamos los tres tiempos descritos anteriormente:

- ✓  $T_{setup}$ : el tiempo de preparación de esta referencia
- ✓  $T_{proceso}$ : el tiempo unitario de proceso de esta referencia
- ✓  $T_{seguridad}$ : el tiempo entre el fin de la producción del lote y su expedición

Los dos primeros tiempos son tiempos estándares, definidos por el departamento de métodos. El tercero es un tiempo definido por el departamento logístico.

El nuevo plazo que queremos determinar deviene entonces:

$$Plazo = plazo\ terminado - (T_{setup} + T_{proceso} \times Cantidad + T_{seguridad})$$

Necesitamos otros datos como la línea para poder determinar la carga por línea, así como los stocks para deducir las necesidades netas. Sin embargo, las cantidades expresadas de productos terminados son necesidades netas. Entonces, el stock no es relevante para los productos terminados, pero lo será luego para calcular las necesidades netas de productos semi terminados.

| Material   | Cantidad | Plazo terminado | Plazo | T setup | T proceso | T seguridad | Línea | Stock |
|------------|----------|-----------------|-------|---------|-----------|-------------|-------|-------|
| Material 1 | 18       | 0               | -8,8  | 1       | 0,1       | 6           | EN1   | 0     |
| Material 2 | 27       | 24              | 13,76 | 1       | 0,12      | 6           | EN1   | 0     |
| Material 3 | 27       | 24              | 14,84 | 1       | 0,08      | 6           | EN1   | 0     |
| Material 2 | 27       | 48              | 36,95 | 1       | 0,15      | 6           | EN1   | 0     |
| Material 4 | 36       | 72              | 60,32 | 1       | 0,13      | 6           | EN1   | 0     |

Figura 45: Necesidades de productos terminados obtenidas con plazos de fabricación

Además esta tabla debe ser ordenada por material y luego por plazo por orden creciente por la razón que vamos a ver en la parte siguiente.

#### **4.4.5. Cálculo de las necesidades brutas de productos semi terminados**

Como hemos extraído de SAP los programas de fabricación de productos terminados únicamente, nuestra herramienta debe entonces deducir las necesidades brutas y luego las necesidades netas de productos semi terminados.

A partir de las necesidades netas de productos terminados, del plazo del cual disponemos para lanzar la fabricación y de la estructura de los materiales, vamos a deducir las necesidades de productos de nivel superiores y también los plazos que disponemos para lanzar la producción de esos productos semi terminados. Para cada necesidad de producto terminado, deducimos las necesidades de sus componentes.

Así queremos obtener una tabla perfectamente similar a la tabla de la *Figura 45: Necesidades de productos terminados obtenidas con plazos de fabricación*, con los mismos campos, presentando, las mismas características, para todos los componentes de nivel superiores que llevan cada producto terminado. De la misma manera que precedentemente, sólo nos interesan los productos que van a ser fabricados y no los productos comprados.

Después de tener las necesidades brutas, queremos deducir las necesidades netas.

#### **4.4.6. Cálculo de las necesidades netas de productos semi terminados**

Si hemos integrado el stock en la tabla precedente, es para obtener así las necesidades netas, lo que queremos fabricar. Vamos a realizar una operación sencilla de netting de la manera siguiente:

Para cada referencia, queremos deducir el stock de las necesidades con menor plazo disponible hacia las con mayor plazo disponible hasta que o las necesidades de una referencia o el nivel de stock de esta referencia llegue a 0. Para eso realizamos un algoritmo que va a tratar este requerimiento.

Recordamos que la tabla está ordenada por material y luego por plazo disponible, ambos crecientes, como lo presenta la figura abajo. Los datos no relevantes para esta parte han sido borrados para permitir una mejor lectura.

| i  | Material     | Cantidad | Plazo terminado | Plazo | T setup | T proceso | T seguridad | Línea | Stock |
|----|--------------|----------|-----------------|-------|---------|-----------|-------------|-------|-------|
| 1  | Componente 1 | 18       |                 | -12   |         |           |             |       | 40    |
| 2  | Componente 1 | 36       |                 | 2     |         |           |             |       | 40    |
| 3  | Componente 1 | 18       |                 | 14    |         |           |             |       | 40    |
| 4  | Componente 2 | 27       |                 | 4     |         |           |             |       | 0     |
| .. | Componente 2 | 27       |                 | 58    |         |           |             |       | 0     |
| .. | Componente 3 | 36       |                 | 10    |         |           |             |       | 80    |
| n  | Componente 3 | 36       |                 | 20    |         |           |             |       | 80    |

Figura 46 : Necesidades brutas de productos semi terminados ordenadas

Sean:

- ✓  $n$  el número de registros de la tabla arriba presentada en la *Figura 46* : *Necesidades brutas de productos semi terminados ordenadas*,  $i$  el número del registro estudiado
- ✓  $Material_i$ ,  $Cantidad_i$ ,  $Stock_i$  los valores de los campos Material, Cantidad y Stock del registro  $i$

El algoritmo utilizado es :

Condición inicial :  $Material_0 = ""$

Para  $i = 1$  a  $n$

Si  $Material_i = Material_{i-1}$

$Stock_i = Stock_{i-1}$

Si no

Nada

Si  $Cantidad_i \leq Stock_i$

$Stock_i = Stock_i - Cantidad_i$

$Cantidad_i = 0$

Si no

$Cantidad_i = Cantidad_i - Stock_i$

$Stock_i = 0$

Next  $i$

Este algoritmo realiza lo siguiente : para cada registro estudiado, si la cantidad es inferior al stock, deducimos esta cantidad del stock y luego le damos el valor 0. En el caso contrario, si el stock es inferior a la cantidad damos el valor 0 al stock.

Si  $cantidad \leq stock$

$$stock = stock - cantidad$$

$$cantidad = 0$$

Si no

$$cantidad = cantidad - stock$$

$$stock = 0$$

El dato de stock es :

- ✓ El valor de stock del registro precedente i-1 si la referencia estudiada en esta línea es la misma que la del registro precedente.
- ✓ El valor de stock del registro actual i si la referencia estudiada es diferente de la del registro precedente.

La tabla de necesidades deviene entonces :

| i  | Material     | Cantidad | Plazo terminado | Plazo | T setup | T proceso | T seguridad | Línea | Stock |
|----|--------------|----------|-----------------|-------|---------|-----------|-------------|-------|-------|
| 1  | Componente 1 | 0        |                 | -12   |         |           |             |       | 22    |
| 2  | Componente 1 | 14       |                 | 2     |         |           |             |       | 0     |
| 3  | Componente 1 | 18       |                 | 14    |         |           |             |       | 0     |
| 4  | Componente 2 | 27       |                 | 4     |         |           |             |       | 0     |
| .. | Componente 2 | 27       |                 | 58    |         |           |             |       | 0     |
| .. | Componente 3 | 0        |                 | 10    |         |           |             |       | 44    |
| n  | Componente 3 | 0        |                 | 20    |         |           |             |       | 8     |

Figura 47 : Necesidades netas de productos terminados ordenadas

#### 4.4.7. Actualización de los plazos disponibles

Como hemos modificado las cantidades de los lotes, también hemos modificado los plazos disponibles y los momentos deseados para lanzar la fabricación del dicho lote. Este cálculo depende del tiempo global de fabricación. Al reducir la cantidad de unidades a procesar, reducimos el tiempo de fabricación y entonces aumentamos el



plazo disponible para otras referencias anteriores. Volvemos entonces a realizar el cálculo siguiente :

$$\text{Plazo} = \text{plazo terminado} - (T \text{ setup} + T \text{ proceso} \times \text{Cantidad} + T \text{ seguridad})$$

## 4.5. Diseño de la herramienta : determinación de la carga de las líneas

### 4.5.1. Agrupación de las necesidades por línea

Después de haber calculado las necesidades netas de cada producto, tenemos que establecer el plan de carga de las varias líneas. Por eso, debemos agrupar todas las necesidades por línea. Como varias necesidades pueden estar en diferentes tablas de necesidades de varios niveles. Realizamos esta operación mediante una consulta de unión entre las tablas concernidas, seleccionando únicamente la línea deseada.

### 4.5.2. Preparación de la carga de las líneas

Para cada línea estudiada, creamos una nueva tabla que contiene los campos siguientes ya calculados en las tablas de necesidades.

| Material   | Cantidad | Plazo  | Línea   | T setup | T proceso | T seguridad |
|------------|----------|--------|---------|---------|-----------|-------------|
| Material 8 | 34       | -29,95 | Línea 1 | 1       | 0,015     | 6           |

Figura 48 : Campos guardados para determinar la carga de la líneas

Como vamos a realizar cálculos que van a modificar la columna *Cantidad*, duplicamos esta y creamos un campo *Cantidad\_ini* que es idéntico al campo *Cantidad* para guardar su valor original. Además añadimos 6 nuevos campos que se dejan vacíos de momento y que se actualizarán luego. Esos 6 nuevos campos son:

|                |        |         |        |         |         |
|----------------|--------|---------|--------|---------|---------|
| Total_producir | T_prod | T_Total | C_prod | Extra_T | Extra_C |
|----------------|--------|---------|--------|---------|---------|

Figura 49 : Nuevos campos vacíos que se integran a la tabla de carga de línea

- ✓ *Total\_producir*: la cantidad total a producir de una referencia dentro del periodo estudiado
- ✓ *T\_prod*: el tiempo de producción global del lote.
- ✓ *T\_total*: el tiempo de producción acumulado de la secuencia.
- ✓ *C\_prod*: la cantidad producida de cada lote.
- ✓ *Extra\_T*: el tiempo que se ha utilizado para fabricar más que el pedido cliente.
- ✓ *Extra\_C* : la cantidad superior a la pedida por el cliente que se ha fabricado.

Esta tabla debe ser ordenada por orden de Plazo creciente.

#### 4.5.3. Cálculo de la cantidad total de cada referencia a producir

Una vez que tenemos todas las necesidades netas, sumamos todas las cantidades a fabricar por referencia. Obtenemos así el campo *Total\_producir* que hemos descrito en el párrafo precedente.

#### 4.5.4. Algoritmo de generación de la secuencia

El algoritmo completo está presentado en el anexo III.

Ahora que tenemos la lista de los lotes, con todas las necesidades netas, ordenadas por plazo creciente, ejecutamos un algoritmo de secuenciación que va a realizar los objetivos descritos en la parte 4.3.2. Para eso declaramos una nueva variable:

- ✓ *Extra\_T\_cumul* : el tiempo acumulado de fabricación que se ha utilizado para fabricar más que el pedido cliente

*Extra\_T\_cumul* es una variable y no un campo. No vamos a explotarlo después de realizar los cálculos por eso, no va a aparecer en la tabla. Para cada línea de fabricación, tenemos una tabla que representa su carga como la presentada abajo. En esta tabla tenemos todos los lotes a fabricar en la línea estudiada ordenados por plazo creciente. Actualizamos el campo *Total\_producir*. Para cada fila, el valor de este campo va a ser la suma de los programas de fabricación del material del registro.

| i   | Material   | Cantidad | Cantidad_ini | Plazo | T setup | T unitario | Total_producir | T_prod | T_Total | C_prod | Extra_T | Extra_C |
|-----|------------|----------|--------------|-------|---------|------------|----------------|--------|---------|--------|---------|---------|
| 1   | Material 1 | 36       | 36           | 5,2   | 1       | 0,15       | 165            |        |         |        |         |         |
| 2   | Material 2 | 72       | 72           | 6,4   | 1       | 0,1        | 99             |        |         |        |         |         |
| 3   | Material 1 | 81       | 81           | 22,8  | 1       | 0,15       | 165            |        |         |        |         |         |
| ... | Material 3 | 18       | 18           | 33,3  | 1       | 0,2        | 18             |        |         |        |         |         |
| ... | Material 1 | 12       | 12           | 36,7  | 1       | 0,15       | 165            |        |         |        |         |         |
| ... | Material 2 | 27       | 27           | 36,8  | 1       | 0,1        | 99             |        |         |        |         |         |
| n   | Material 1 | 36       | 36           | 37,0  | 1       | 0,15       | 165            |        |         |        |         |         |

Figura 50: Tabla antes de lanzar el algoritmo de secuenciación

Para cada fila de la tabla, el algoritmo va a calcular el tiempo necesario de fabricación del lote *T\_prod* de la manera siguiente :

$$T_{prod_i} = T_{setup_i} + cantidad_i \times T_{unitario_i}$$

$$T_{Total_i} = T_{Total_{i-1}} + T_{prod_i}$$

Además, va a calcular la cantidad producida *C\_prod\_i* y vamos a descontarla de la cantidad total de esta referencia a producir *Total\_producir*. En un primer momento, tenemos :

$$C_{prod_i} = cantidad_i$$

$$Total\ producir_{j \geq i \text{ y } Material_j = Material_i} = Total\ producir_i - C_{prod_i}$$

Con esta operación, el valor del campo  $Total\_producir_i$  es la cantidad total que quedaría por fabricar de material en el horizonte de planificación considerado, suponiendo que en la línea  $i$  se ordena un lote de tamaño  $C_{prod_i}$ .

Una vez hecho esto, y considerando que nunca se ha fabricado más que las cantidades pedidas, vamos a comparar el tiempo de fabricación total con el plazo del lote siguiente a producir. El caso que se ha fabricado más cantidades anteriormente se desarrollara luego. Tenemos entonces:

$$Si\ T\_Total_i \geq Plazo_{i+1} \quad no\ vamos\ a\ fabricar\ más\ que\ C_{prod_i}$$

$$Si\ T\_Total_i < Plazo_{i+1} \quad vamos\ a\ fabricar\ más\ que\ C_{prod_i}$$

Si no vamos a fabricar más que  $C_{prod_i}$ , no pasa nada más, el algoritmo pasa a la fila siguiente y repite estas operaciones. Si seguimos fabricando este lote, queremos fabricar el mínimo de:

- ✓ La cantidad total que queda por producir de esta referencia  $Total\_producir_i$ .
- ✓ La cantidad que hace llegar el tiempo de producción total  $T_{prod_i}$  al valor del plazo del lote siguiente  $Plazo_{i+1}$ .

Para eso calculamos el tiempo del cual disponemos entre el fin de producción del lote actual y el del lote siguiente. Este tiempo va a corresponder al campo  $Extra\_T_i$  y tenemos :

$$Extra\_T_i = Plazo_{i+1} - T\_Total_i$$

De este tiempo deducimos la cantidad que se puede producir durante este periodo. Esta cantidad es el campo  $Extra\_C_i$ . Lo calculamos de la manera siguiente:

$$Extra\_C_i = E \left( \frac{Extra\_T_i}{T\_unitario_i} \right)$$

Comparamos luego este valor con la cantidad total que quedaría por producir de esta referencia  $Total\_producir_i$  y actualizamos los datos en función de esto:

Si  $Extra\_C_i \leq Total\_producir_i$  no cambiamos nada

Si  $Extra\_C_i > Total\_producir_i$  actualizamos  $Extra\_C_i$  :  $Extra\_C_i = Total\_producir_i$

Una vez que hemos determinado la cantidad mínima a producir, actualizamos los otros datos de producción, tiempos y cantidades. Actualizamos igualmente  $Extra\_T_i$  para que corresponda al tiempo de fabricación de un número entero de unidades.

$$Extra\_T_i = Extra\_C_i \times T\_unitario_i$$

$$Extra\_T\_cumul = Extra\_T\_cumul + Extra\_T_i$$

$$C\_prod_i = C\_prod_i + Extra\_C_i$$

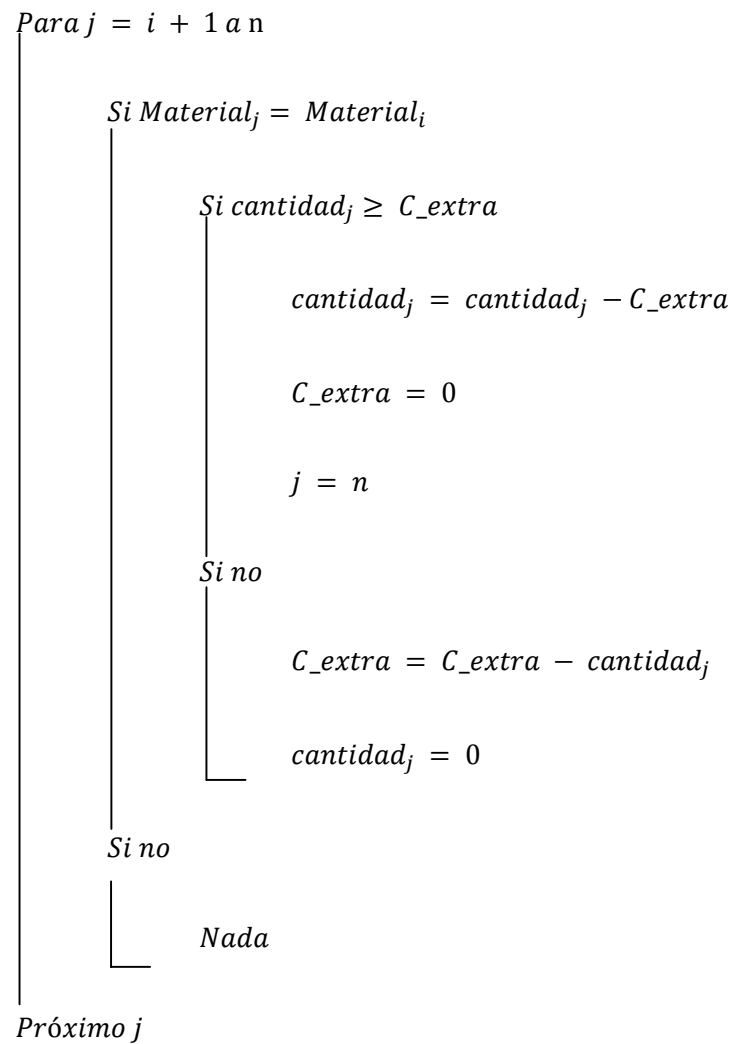
$$T\_prod_i = T\_prod_i + Extra\_T_i$$

$$T\_Total_i = T\_Total_i + Extra\_T_i$$

El dato  $Total\_producir$ , no debe actualizarse solamente en el registro de la tabla estudiado sino también en todos los registros siguientes que tienen el mismo material.

$$Total\_producir_{j \geq i \text{ y } material_j = material_i} = Total\_producir_i - Extra\_C_i$$

En el caso que hemos fabricado más que la necesidad estudiada, tenemos que deducir esta cantidad  $Extra\_C_i$  de los próximos pedidos. Todavía queremos descontar esta cantidad de las órdenes las más prontas, es decir para los lotes más cercanos a  $i$  en primer lugar. Para eso, afectamos el valor de la cantidad  $Extra\_C_i$  a una variable que llamamos  $C\_extra$  y se realiza el bucle siguiente:



Ahora tenemos que tener en cuenta el caso siguiente: Es posible que hemos tenido tiempo disponible, fabricado anteriormente más cantidades que las del lote pedido y que se ha generado un atraso ulteriormente. Este atraso debe ser eliminado como lo hemos visto en la *Figura 40: Secuencia de fabricación modificada para no generar atrasos ulteriormente*. Para realizar este paso vamos a necesitar dos nuevas variables que son:

- ✓ *varc*: la diferencia de cantidades fabricadas extras que se han producido antes de y después de realizar los ajustes para eliminar los atrasos.
- ✓ *vart*: la diferencia de tiempo de producción extra que se han producido antes de y después de realizar los ajustes para eliminar los atrasos.

Si tenemos retraso para la producción y si hemos fabricado cantidades suplementarias, o sea:

$$\text{Si } T_{Total_i} > Plazo_{i+1} \text{ y } Extra\_T\_cumul > 0$$

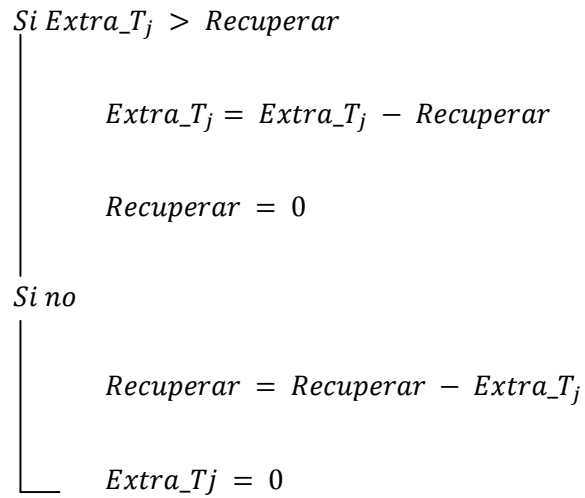
Tenemos que calcular el tiempo a recuperar para que el lanzamiento de la producción no se haga con atraso. Para eso, creamos una nueva variable *Recuperar* que corresponde justamente a este tiempo.

$$Recuperar = T_{Total_i} - Plazo_{i+1}$$

Una vez calculado el tiempo a recuperar volvemos atrás, y descontamos este tiempo de los lotes para los cuales se ha fabricado más que lo pedido. Reducimos los lotes los más cercanos a *i* en primer lugar. Para cada registro *j*, comparamos *Extra\_T<sub>j</sub>* con *Recuperar*. Si *Extra\_T<sub>j</sub>* > *Recuperar*, todo el atraso se puede recuperar en este lote y lo reducimos de la cantidad necesaria. Si no, hace falta más que *Extra\_T<sub>j</sub>* para recuperar el atraso y no fabricamos nada más que lo pedido por este lote. *Extra\_T<sub>j</sub>* deviene igual a 0. También calculamos la variación de *Extra\_T<sub>j</sub>* encontrada gracias a la nueva variable *vart*.

$$\text{Para } j = i - 1 \text{ a } 1$$

$$vart = Extra\_T_j$$



Una vez actualizado el  $Extra\_T_j$  del registro estudiado, actualizamos la cantidad que se ha producido durante este tiempo  $Extra\_C_j$  así que su variación  $varc$  de la manera siguiente.

$$varc = Extra\_C_j$$

$$Extra\_C_j = E \left( \frac{Extra\_T_j}{T\_unitario_j} \right)$$

$$varc = varc - Extra\_C_j$$

$$Extra\_T_j = Extra\_C_j * T\_unitario_j$$

$$vart = vart - Extra\_T_j$$

Actualizamos también los tiempos de producción y cantidades producidas en el registro estudiado.

$$C\_prod_j = C\_prod_j - varc$$

$$T\_prod_j = T\_prod_j - vart$$





También actualizamos los tiempos de producción totales para cada registro ulterior al registro que ha sido modificado.

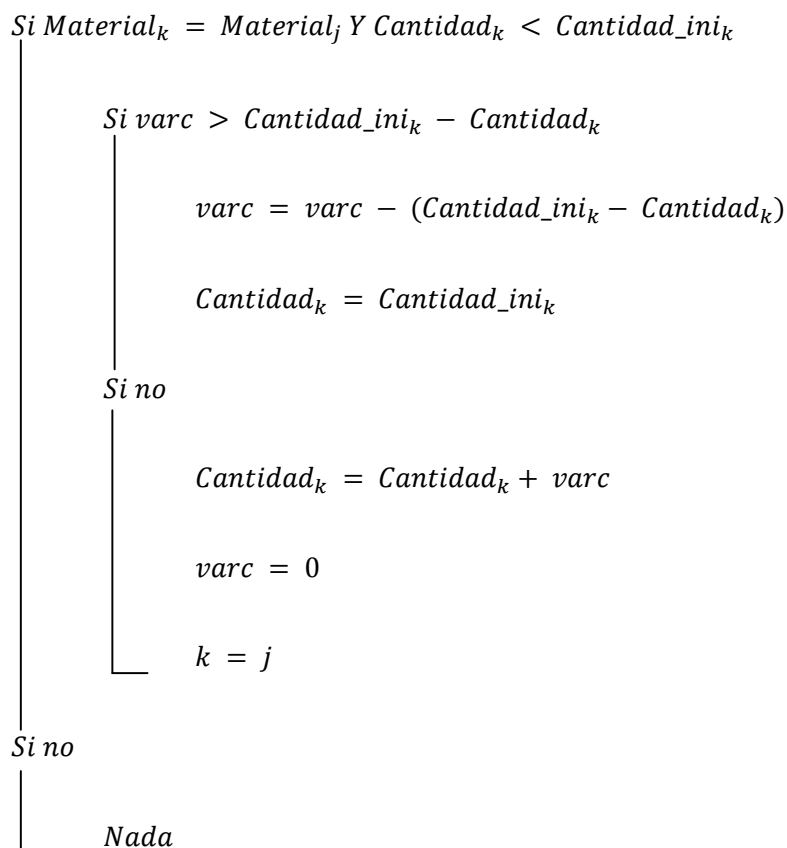
$$T_{Total_{j \leq k \leq i}} = T_{Total_k} - vart$$

Actualizamos igualmente la cantidad a producir de esta misma referencia para los registros siguientes

$$Total_{producir_{k \geq j}} y Material_k = Material_j = Total_{producir_k} + varc$$

Una vez que hemos actualizado todos esos valores, también tenemos que reponer las cantidades que habíamos quitado después de fabricar cantidades suplementarias en un lote. Para eso, utilizamos el campo *Cantidad\_ini* para reponer las cantidades anteriores y reponemos en las necesidades las más tardes. Por eso este bucle empieza al final, al último registro  $n$ , y va al revés hasta el registro estudiado  $j$ . Este bucle es el siguiente:

Para  $k = n$  A  $j$



Próximo  $k$

#### 4.5.5. Ilustración del algoritmo con un ejemplo

Para entender bien este algoritmo se va a realizar un ejemplo a partir de la tabla siguiente.

| i | Material   | Cantidad | Cantidad_ini | Plazo | T setup | T proceso | Total_producir | T_prod | T_Total | C_prod | Extra_T | Extra_C |
|---|------------|----------|--------------|-------|---------|-----------|----------------|--------|---------|--------|---------|---------|
| 1 | Material 1 | 36       | 36           | 5,2   | 1       | 0,15      | 165            |        |         |        |         |         |
| 2 | Material 2 | 72       | 72           | 6,4   | 1       | 0,1       | 99             |        |         |        |         |         |
| 3 | Material 1 | 81       | 81           | 22,8  | 1       | 0,15      | 165            |        |         |        |         |         |
| 4 | Material 3 | 18       | 18           | 33,3  | 1       | 0,2       | 18             |        |         |        |         |         |
| 5 | Material 1 | 12       | 12           | 36,7  | 1       | 0,15      | 165            |        |         |        |         |         |
| 6 | Material 2 | 27       | 27           | 36,8  | 1       | 0,1       | 99             |        |         |        |         |         |
| 7 | Material 1 | 36       | 36           | 37,0  | 1       | 0,15      | 165            |        |         |        |         |         |

Figura 51 : Tabla de presentación del algoritmo

Fabricamos el primer lote. Fabricar las 36 unidades de Material 1 tarda 6,4 horas. Deducimos entonces esas 36 unidades de la cantidad total de Material 1 a fabricar para este registro y para los siguientes. Fabricamos luego el lote siguiente, las 72 unidades de Material 2. Esta operación tarda 8,2 horas. El tiempo de producción total sería en este caso de 14,6 horas. Sin embargo, este 14,6 es inferior al plazo del lote siguiente, seguimos entonces fabricando Material 2 hasta llegar al plazo para lanzar el lote siguiente o hasta fabricar todas las necesidades de Material 2.

Las necesidades totales de Material 2 son de 99 unidades. Fabricar esas 99 unidades tarda 10,9 horas y el tiempo de producción total sería de 17,3 horas y sigue inferior al plazo del lote siguiente. Fabricamos entonces 99 unidades. Fabricar las 27 otras unidades que las pedidas por este lote tarda 2,7 horas. En consecuencia de esto, tenemos que deducir las 27 unidades de los lotes siguientes y de la cantidad total de Material 2 a producir. Después de esos pasos, la tabla deviene:

| Material   | Cantidad | Cantidad_ini | Plazo | T setup | T proceso | Total_producir | T_prod | T_Total | C_prod | Extra_T | Extra_C |
|------------|----------|--------------|-------|---------|-----------|----------------|--------|---------|--------|---------|---------|
| Material 1 | 36       | 36           | 5,2   | 1       | 0,15      | 129            | 6,4    | 6,4     | 36     |         |         |
| Material 2 | 72       | 72           | 6,4   | 1       | 0,1       | 0              | 10,9   | 17,3    | 99     | 2,7     | 27      |
| Material 1 | 81       | 81           | 22,8  | 1       | 0,15      | 129            |        |         |        |         |         |
| Material 3 | 18       | 18           | 33,3  | 1       | 0,2       | 18             |        |         |        |         |         |
| Material 1 | 12       | 12           | 36,7  | 1       | 0,15      | 129            |        |         |        |         |         |
| Material 2 | 0        | 27           | 36,8  | 1       | 0,1       | 0              |        |         |        |         |         |
| Material 1 | 36       | 36           | 37,0  | 1       | 0,15      | 129            |        |         |        |         |         |

Figura 52 : Tabla de presentación del algoritmo después de fabricar los dos primeros lotes

Luego fabricamos el tercer lote. Fabricar las 81 unidades de Material 1 tarda 13,15 horas y el tiempo total sería entonces de 30,45 horas. Este tiempo también es inferior al plazo del lote siguiente, que es de 33,3 horas. Fabricar las 129 unidades sería demasiado largo, fabricamos entonces hasta llegar al plazo del lote siguiente, 33,3 horas. Disponemos de 2,85 horas, durante las cuales se fabricamos 19 unidades. Genera un tiempo de fabricación total del lote de 16,0 horas y un tiempo total de

producción de 33,3 horas. Deducimos luego las 19 unidades de la cantidad total de Material 1 a fabricar para este lote y los lotes siguientes, y las descontamos también de las próximas órdenes de fabricación.

| Material   | Cantidad | Cantidad_ini | Plazo | T setup | T proceso | Total_producir | T_prod | T_Total | C_prod | Extra_T | Extra_C |
|------------|----------|--------------|-------|---------|-----------|----------------|--------|---------|--------|---------|---------|
| Material 1 | 36       | 36           | 5,2   | 1       | 0,15      | 129            | 6,4    | 6,4     | 36     |         |         |
| Material 2 | 72       | 72           | 6,4   | 1       | 0,1       | 0              | 10,9   | 17,3    | 99     | 2,7     | 27      |
| Material 1 | 81       | 81           | 22,8  | 1       | 0,15      | 29             | 16,0   | 33,3    | 100    | 2,85    | 19      |
| Material 3 | 18       | 18           | 33,3  | 1       | 0,2       | 18             |        |         |        |         |         |
| Material 1 | 0        | 12           | 36,7  | 1       | 0,15      | 29             |        |         |        |         |         |
| Material 2 | 0        | 27           | 36,8  | 1       | 0,1       | 0              |        |         |        |         |         |
| Material 1 | 29       | 36           | 37,0  | 1       | 0,15      | 29             |        |         |        |         |         |

Figura 53 : Tabla de presentación del algoritmo después de fabricar el tercer lote

Fabricamos ahora el lote del Material 3. El tiempo de fabricación es de 4,6 horas e induce un tiempo de fabricación total de 37,9 horas. Este tiempo es superior al plazo del lote siguiente que tiene una cantidad a producir no nula, que es de 37,0 horas. Tenemos entonces que recuperar 0,9 horas en los lotes precedentes.

| Material   | Cantidad | Cantidad_ini | Plazo | T setup | T proceso | Total_producir | T_prod | T_Total | C_prod | Extra_T | Extra_C |
|------------|----------|--------------|-------|---------|-----------|----------------|--------|---------|--------|---------|---------|
| Material 1 | 36       | 36           | 5,2   | 1       | 0,15      | 129            | 6,4    | 6,4     | 36     |         |         |
| Material 2 | 72       | 72           | 6,4   | 1       | 0,1       | 0              | 10,9   | 17,3    | 99     | 2,7     | 27      |
| Material 1 | 81       | 81           | 22,8  | 1       | 0,15      | 35             | 15,1   | 32,4    | 94     | 1,95    | 13      |
| Material 3 | 18       | 18           | 33,3  | 1       | 0,2       | 0              | 4,6    | 37,0    | 18     | 0       | 0       |
| Material 1 | 0        | 12           | 36,7  | 1       | 0,15      | 35             |        |         |        |         |         |
| Material 2 | 0        | 27           | 36,8  | 1       | 0,1       | 0              |        |         |        |         |         |
| Material 1 | 35       | 36           | 37,0  | 1       | 0,15      | 35             |        |         |        |         |         |

Figura 54 : Tabla de presentación del algoritmo después de fabricar el cuarto lote

El lote precedente tiene un tiempo de producción suplementario de 2,85 horas. Es suficiente entonces para recuperar nuestro atraso. Quitamos 6 unidades suplementarias de Material 1 y así recuperamos las 0,9 horas faltantes.

Una vez fabricado este lote, como los dos lotes siguientes no tienen necesidades, fabricamos el último lote. La tabla deviene entonces:

| Material   | Cantidad | Cantidad_ini | Plazo | T setup | T proceso | Total_producir | T_prod | T_Total | C_prod | Extra_T | Extra_C |
|------------|----------|--------------|-------|---------|-----------|----------------|--------|---------|--------|---------|---------|
| Material 1 | 36       | 36           | 5,2   | 1       | 0,15      | 129            | 6,4    | 6,4     | 36     |         |         |
| Material 2 | 72       | 72           | 6,4   | 1       | 0,1       | 0              | 10,9   | 17,3    | 99     | 2,7     | 27      |
| Material 1 | 81       | 81           | 22,8  | 1       | 0,15      | 35             | 15,1   | 32,4    | 94     | 1,95    | 13      |
| Material 3 | 18       | 18           | 33,3  | 1       | 0,2       | 0              | 4,6    | 37,0    | 18     |         |         |
| Material 1 | 0        | 12           | 36,7  | 1       | 0,15      | 35             | 0      | 37,0    | 0      |         |         |
| Material 2 | 0        | 27           | 36,8  | 1       | 0,1       | 0              | 0      | 37,0    | 0      |         |         |
| Material 1 | 35       | 36           | 37,0  | 1       | 0,15      | 0              | 6,25   | 43,25   | 35     |         |         |

Figura 55 : Tabla de presentación del algoritmo terminada

## 4.6. Diseño de la herramienta : presentación de las órdenes de fabricación

El algoritmo presentado nos da entonces la secuencia de fabricación secuenciada según nuestros criterios. Ahora, tenemos que presentar los datos encontrados para que esta secuencia presentada en una tabla devuelva órdenes de fabricación utilizables en la planta.

### 4.6.1. Selección de las órdenes válidas

El algoritmo de generación de la secuencia a producir presentado anteriormente puede hacer que una cantidad a producir sea nula. Si adelantamos la producción de unas referencias porque disponemos del tiempo necesario, al deducir la cantidad extra fabricada de los diferentes lotes siguientes, estos pueden ser fabricados en totalidad y

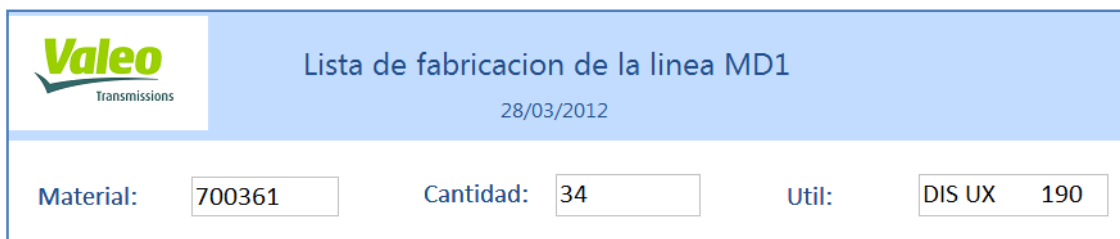
así ser eliminados. Así de la tabla de la carga de las líneas tenemos que quitar todos los registros que tienen un valor de  $C_{Prod}$  igual a 0.

#### 4.6.2. Creación del formulario

Una vez ya llegado a este punto, se puede empezar a crear el formulario que va a presentar las órdenes de fabricación. El formulario permite que todas las órdenes calculadas sean presentadas de la misma manera, en diferentes pestañas. De momento, lo que queremos insertar son:

- ✓ La referencia a procesar.
- ✓ La cantidad de esta referencia que se debe procesar.
- ✓ El útil necesario para la fabricación de esta referencia.

La figura abajo presenta una orden con los primeros datos que tenemos.



| Valeo Transmissions |        | Lista de fabricacion de la linea MD1 |    | 28/03/2012 |            |
|---------------------|--------|--------------------------------------|----|------------|------------|
| Material:           | 700361 | Cantidad:                            | 34 | Util:      | DIS UX 190 |

Figura 56 : Primer vistazo de la orden de fabricación

#### 4.6.3. Integración de la lista de componentes con su ubicación

Para aumentar la autonomía del operario y disminuir el tiempo de cambio de referencia, la herramienta puede dar para cada lote la lista de componentes necesarios y la ubicación de cada componente. Creamos entonces un subformulario que devolverá esta información. La lista de componentes deberá estar ordenada por orden de ubicación creciente, para que el operario pueda organizar de la mejor manera la recogida de

componentes. Además, añadimos la descripción de los componentes para que el operario sepa qué tipo de componente tiene que buscar.



| Componente | Descripción             | Ubicación           |
|------------|-------------------------|---------------------|
| 680705     | SUBCONJ CHAPA TAPA      |                     |
| 680355V    | ARANDELA FRICCION       | D PREMONTAJE-A-15-5 |
| 680669     | SUBCONJ CUBO PALIER ALA | DISCOS-V-C-1        |
| 269759V    | REMACHE FORRO 4MM       | Est Forros-A-01-2   |
| 680323V    | REMACHE SEPARADOR       | Est MD1-A-01-1      |
| 680358V    | MUELLE AMORTIGUACION    | Est MD1-A-03-1      |
| 684378V    | ARANDELA ELASTICA       | Est MD1-A-08-5      |
| 700481     | SUBCONJ PALIER ARANDELA | Est MD1-A-08-6      |
| 699231V    | FORRO 190X134X2.9/491   | S FORROS-A-10-1     |
| 680305     | TAPA UX                 | TT Discos-A1-1-3    |

Figura 57 : Orden de fabricación con lista de componentes

#### 4.6.4. Inserción de un espacio para validar el lote

Una vez que se ha procesado un lote, el operario debe indicarlo en la aplicación. Esta información sirve para él, para que sepa lo que ya ha hecho y lo que falta por hacer y también permite un seguimiento de la producción. El espacio se constituye de una zona de texto y de un botón "Validar lote" como presentado en la figura siguiente.



**Valeo**  
Transmissions

Lista de fabricación de la línea MD1  
28/03/2012

Material: 700361 Cantidad: 34 Util: DIS UX 190

Lista de componentes:

| Componente | Descripcion             | Ubicación           |
|------------|-------------------------|---------------------|
| 680705     | SUBCONJ CHAPA TAPA      |                     |
| 680355V    | ARANDELA FRICCION       | D PREMONTAJE-A-15-5 |
| 680669     | SUBCONJ CUBO PALIER ALA | DISCOS-V-C-1        |
| 269759V    | REMACHE FORRO 4MM       | Est Forros-A-01-2   |
| 680323V    | REMACHE SEPARADOR       | Est MD1-A-01-1      |
| 680358V    | MUELLE AMORTIGUACION    | Est MD1-A-03-1      |
| 684378V    | ARANDELA ELASTICA       | Est MD1-A-08-5      |
| 700481     | SUBCONJ PALIER ARANDELA | Est MD1-A-08-6      |
| 699231V    | FORRO 190X134X2.9/491   | S FORROS-A-10-1     |
| 680305     | TAPA UX                 | TT Discos-A1-1-3    |

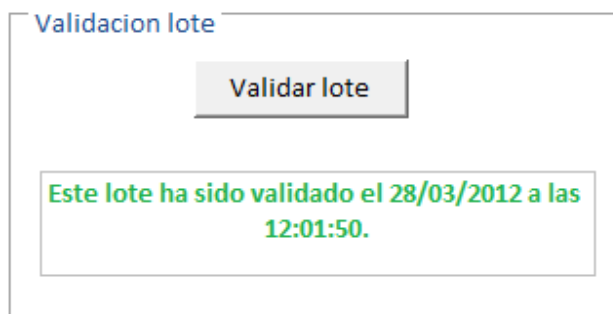
Validacion lote

Validar lote

Figura 58 : Orden de fabricación con espacio para validar la fabricación

#### 4.6.5. Acción del botón de validación de lote

Al pulsar el botón "Validar lote", en la zona de texto abajo se inserta el mensaje siguiente:



Validacion lote

Validar lote

Este lote ha sido validado el 28/03/2012 a las 12:01:50.

Figura 59 : Validación de la fabricación de un lote

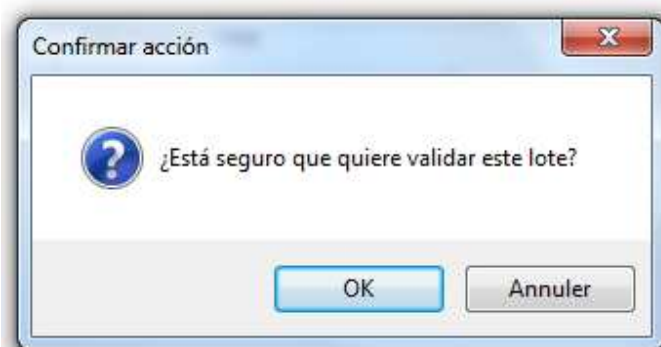
La fecha y la hora indicadas son la fecha y la hora al momento de pulsar el botón.



Sin embargo, aquí también se deben establecer unas medidas para reducir el riesgo de error.

- **Pedir confirmación**

Antes de escribir este mensaje, al pulsar el botón "Validar lote" se va a abrir una ventana que va a pedir confirmación.



*Figura 60 : Mensaje de petición de confirmación de validación*

Si el usuario pincha en OK, entonces el mensaje de validación presentado arriba se inscribe en la zona de texto. Si cancela, no pasa nada.

- ✓ **Impedir la validación una segunda vez**

Si la fabricación de un lote ya ha sido validada, queremos que el operario no pueda realizar una segunda declaración. Eso tendría como consecuencia cambiar la hora de declaración. En lugar de eso, si un lote ya ha sido validado y el operario quiere volver a validar, el mensaje abajo aparece y no ocurre nada.



Figura 61 : Mensaje de error para no validar un lote 2 veces

#### 4.6.6. Elementos de navegación entre las diferentes órdenes

Lo último que se tiene que añadir a este formulario son tres botones "Volver al lote precedente", "Ir al lote siguiente" y "Salir" que permiten navegar entre las diferentes órdenes, o sea entre los diferentes registros del formulario y cerrarlo. Ahora, disponemos de todos los datos necesarios.



Lista de fabricación de la línea MD1

09/05/2012

Material:

Cantidad:

Util:

Lista de componentes:

| Componente | Descripción             | Ubicación           |
|------------|-------------------------|---------------------|
| 680705     | SUBCONJ CHAPA TAPA      |                     |
| 680355V    | ARANDELA FRICCION       | D PREMONTAJE-A-15-5 |
| 680669     | SUBCONJ CUBO PALIER ALA | DISCOS-V-C-1        |
| 269759V    | REMACHE FORRO 4MM       | Est Forros-A-01-2   |
| 680323V    | REMACHE SEPARADOR       | Est MD1-A-01-1      |
| 680358V    | MUELLE AMORTIGUACION    | Est MD1-A-03-1      |
| 684378V    | ARANDELA ELASTICA       | Est MD1-A-08-5      |
| 700481     | SUBCONJ PALIER ARANDELA | Est MD1-A-08-6      |
| 699231V    | FORRO 190X134X2.9/491   | S FORROS-A-10-1     |
| 680305     | TAPA UX                 | TT Discos-A1-1-3    |
|            |                         |                     |
|            |                         |                     |
|            |                         |                     |

Validacion lote

Volver al lote precedente

Ir al lote siguiente

Figura 62 : Orden de fabricación completa

## **5. Herramienta 3: sistema de reaprovisionamiento a partir de un stock de consignación**

### **5.1. Introducción**

#### **5.1.1. Antecedentes y motivación**

Las características de nuestro entorno industrial han requerido el desarrollo de herramientas de gestión de órdenes de fabricación para los principales procesos de la planta. También esas características tienen repercusiones en un aspecto indirecto del sistema de producción pero que tiene una gran importancia para su buena gestión. Trata del reaprovisionamiento de los almacenes ubicados cerca de las líneas de producción a partir del almacén general. En las otras plantas, esta actividad se realiza también con herramientas JIT y entonces no dan buenos resultados en nuestro caso. Además, la necesidad de tener una herramienta que gestiona este aprovisionamiento interno está reforzada cuando se hace desde un almacén de consignación. Este sistema de aprovisionamiento con un stock de consignación se ha implantado con un proveedor para probar su eficiencia pero todavía no se ha desarrollado ningún método para gestionar el aprovisionamiento interno.

#### **5.1.2. Objetivo**

El objetivo de este estudio es desarrollar una herramienta que permita la gestión del reaprovisionamiento de los almacenes ubicados cerca de las líneas de producción a partir de un almacén de consignación y que sea adaptada a nuestro contexto industrial y que reduzca realmente los riesgos de faltas y los inventarios.

## 5.2. Definición de la problemática estudiada

### 5.2.1. Presentación de la problemática

Los stocks permiten a veces mejorar el servicio al cliente, porque aseguran el suministro de un producto o permiten reducir su lead time. Es particularmente verdad para nuestro caso para hacer frente a la demanda muy variable de los pedidos. Sin embargo, los stocks tienen tres inconvenientes que queremos limitar:

- ✓ Representan una cantidad de dinero inmovilizado que podría ser utilizado de otra manera.
- ✓ Toman espacio en la planta que podría ser utilizado para actividades productivas.
- ✓ Generan una actividad suplementaria de gestión y de mantenimiento que requiere tiempo e infraestructuras pero que no añade valor.

La última parte de este proyecto va a presentar una solución que si no puede arreglar el segundo problema, sí permite limitar la inmovilización de dinero. Esta solución es la consignación.

### 5.2.2. Presentación del sistema de consignación

Un sistema de stock de consignación significa que el cliente tiene en sus instalaciones un stock que todavía pertenece al proveedor, que todavía no ha pagado pero que tiene en sus locales, a su disposición con un lead time nulo. Cuando lo necesita, el cliente viene a recoger piezas en este almacén para luego alimentar las líneas de producción. La facturación de los productos se hace cuando sacamos los productos del almacén de consignación para justamente integrarlos al sistema productivo. El aprovisionamiento del proveedor al almacén de consignación se hace con un sistema de tipo MRP. Este tipo de aprovisionamiento es cuanto más poderoso si el factor de inmovilización financiera es más apremiante que el factor del espacio físico. En resumen, es particularmente beneficioso para piezas de menor tamaño y alto valor.

Un tal sistema se implanta en colaboración estrecha con un proveedor, una vez que ambas partes han decidido utilizarlo. Se requiere una relación de confianza entre cliente y proveedor por eso se utiliza a menudo con proveedores y clientes que ya trabajan juntos con otro sistema de aprovisionamiento, y poco con nuevos proveedores. Un tal sistema entonces se inscribe en una dinámica de integración de los proveedores y de relación durable.

### **5.2.3. Objeto del estudio**

El objeto de este estudio es determinar las condiciones de aprovisionamiento interno. Es decir el aprovisionamiento en componentes de las líneas de fabricación desde el almacén de consignación. Las condiciones de aprovisionamiento desde el proveedor hasta la planta, aunque deban ser establecidas por logística y compras, no se estudian en detalle aquí. Se pueden determinar por programa MRP normal, con un plazo de antelación y stock de seguridad eventual decidido por el departamento de logística. Las figuras siguientes representan el cuadro del estudio dentro del proceso global de establecimiento de un sistema de aprovisionamiento con stock de consignación con un proveedor.

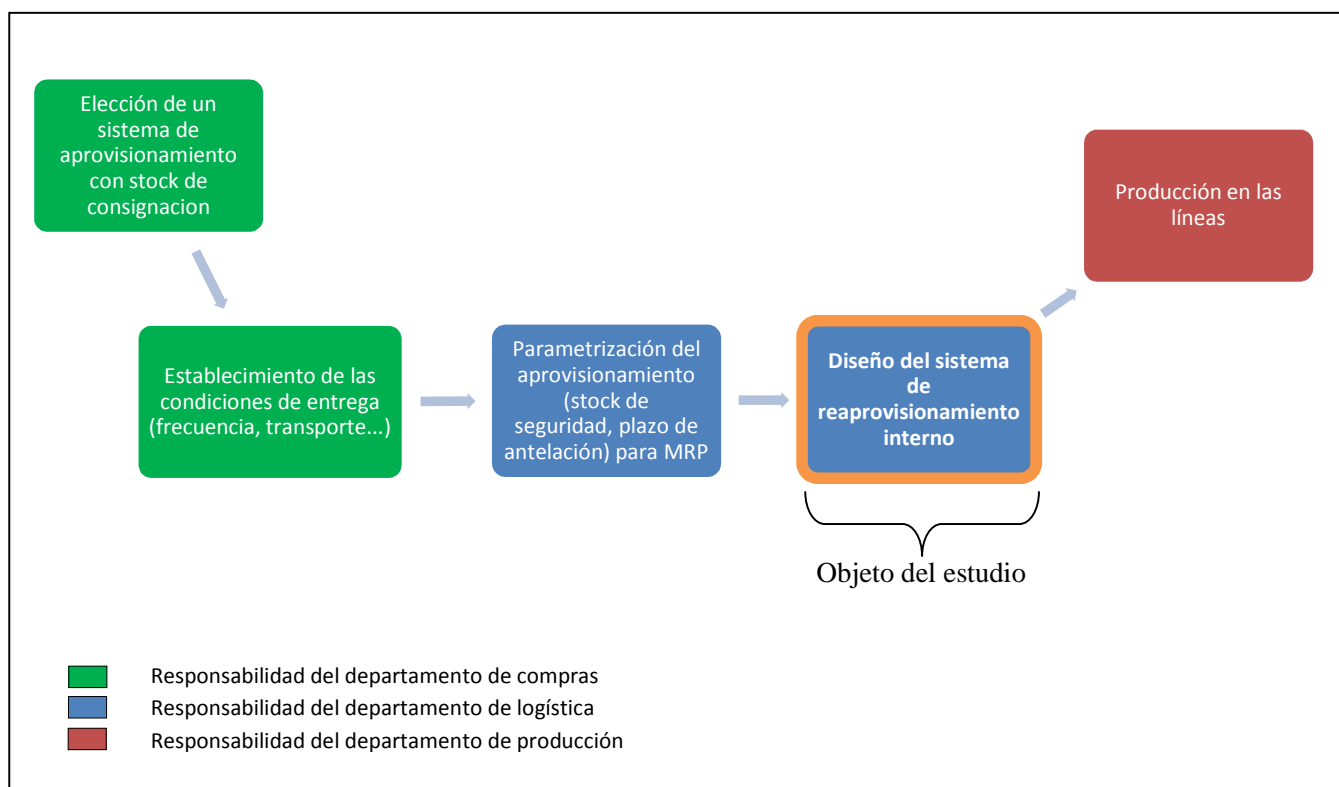


Figura 63: Proceso de establecimiento de un sistema de aprovisionamiento con stock de consignación

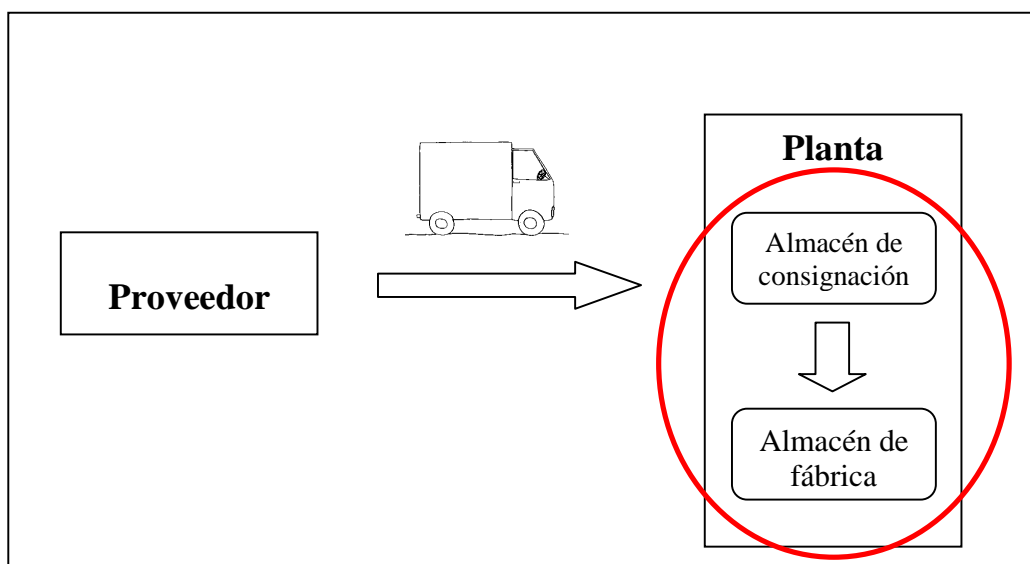


Figura 64: Objeto del estudio, flujos de reaprovisionamiento interno

El establecimiento de un tal sistema de aprovisionamiento interno pasa por:

- ✓ La organización de dos almacenes distintos.
- ✓ La determinación de la frecuencia y cantidad a llenar.
- ✓ El establecimiento del proceso de gestión de los almacenes.

#### **5.2.4. Organización de los almacenes**

Como ya hemos visto en la presentación de esta parte, para establecer un tal sistema, se necesitan gestionar dos almacenes distintos:

- ✓ Un almacén de consignación, en el cual se entregan los productos del proveedor, pero que todavía le pertenecen.
- ✓ El almacén en las líneas de producción, que rellenamos a partir del stock contenido en el almacén de consignación.

Estos almacenes no deben ser únicamente distintos físicamente, deben también ser distintos en el sistema de información. Efectivamente, sacar componentes del almacén de consignación para llevarlos al almacén de fábrica induce también la facturación de esos componentes. Además, para conocer la cantidad que se necesita llevar al almacén de fábrica, se necesita conocer la cantidad de stock actual en este mismo almacén.

- **Características del almacén de fábrica**

Para los almacenes de fábrica utilizamos estanterías dinámicas. Estas estanterías son el tipo de tecnología de almacenamiento más utilizado para el almacenamiento de líneas. Se alimentan en cajas de componentes por un lado por el operario logístico y la mano de obra directa, que trabaja en las líneas, viene por el otro lado a recoger las cajas que necesitan para trabajar en las líneas. Funciona entonces en sistema FIFO y permiten un uso al mismo tiempo por los operarios logísticos y la mano de obra directa,

sin que se molesten entre sí. Además son poco voluminosas, lo que permite diseñar líneas muy compactas, y así reducir el espacio utilizado y también los movimientos de piezas en un mismo puesto de trabajo y entre los diferentes puestos de trabajo.



*Figura 65: Fotografía de estantería dinámica con cajas*

Esas estanterías están ubicadas cerca de las líneas y entonces, como deben ocupar poco espacio, tienen una capacidad reducida.

- **Características del almacén de consignación**

Las consideraciones a tener en cuenta para el almacén de consignación son diferentes. No se almacenan cajas sino los pallets que vienen del proveedor. Se puede utilizar entonces más bien un tipo de almacenaje al suelo o en altura, en estanterías según la tasa de rotación de los componentes.





*Figura 66: Almacenamiento de pallets al suelo o en estanterías*

El criterio más importante es que este almacén de consignación sea bien definido físicamente. Esto se puede hacer con un marcaje al suelo. Además, se requiere explicar claramente a todos los operarios logísticos las particularidades de este almacén y los requerimientos necesarios para sacar materia. El acceso al almacén está restringido sólo a los operarios logísticos. La presencia de este almacén de consignación justifica aún más que esta regla sea rigurosamente aplicada.

### **5.2.5. Determinación de la frecuencia de reaprovisionamiento**

Una vez que hemos definido los dos almacenes distintos, establecemos la frecuencia de reaprovisionamiento necesaria. Esta frecuencia es la frecuencia con la cual vamos a rellenar el almacén de fábrica con los materiales contenidos en el almacén de consignación. Para facilitar la gestión y poder integrar esta operación dentro de la agenda diaria del operario logístico, se decide optar por un sistema de

aprovisionamiento con frecuencia fija. Los operarios logísticos, experimentados recomiendan hacer dos entregas al día.

Para comprobar que con dos entregas al día no habría problemas, vamos a realizar un cálculo sencillo y hacer una aproximación de la frecuencia de reaprovisionamiento necesaria. Consideramos para calcular la frecuencia de reaprovisionamiento de las referencias concernidas por este sistema de reaprovisionamiento los tres criterios siguientes:

- ✓ La capacidad de almacenamiento en fábrica dedicada a cada referencia concernida.
- ✓ El consumo medio diario de las referencias concernidas.
- ✓ La cantidad de piezas de esas referencias concernidas que lleva una unidad de acondicionamiento.

La capacidad de almacenamiento está definida por la cantidad de cajas que se pueden ubicar por fila y del número de filas que queremos dedicar por referencia. Disponemos de esta información en una base de datos.

El consumo medio diario para cada referencia es un dato que se puede sacar de SAP. El consumo planificado no es el consumo real, debido a la variación entre la planificación y la producción, por eso, este cálculo sólo es una aproximación para comprobar el dato de dos entregas al día.

Teniendo todos esos datos, para cada referencia calculamos la frecuencia definida de la manera siguiente:

$$Frecuencia = \frac{\text{Consumo medio diario}}{\text{Capacidad de almacenamiento} \times \text{Cantidad de piezas por unidad de manutención}}$$

| Referencia | Consumo diario | Capacidad almacenamiento | Cantidad piezas por cajas | Frecuencia |
|------------|----------------|--------------------------|---------------------------|------------|
| Ref 1      | 2756           | 12                       | 500                       | 0,46       |
| Ref 2      | 3436           | 12                       | 250                       | 1,15       |
| Ref 3      | 6548           | 24                       | 175                       | 1,56       |
| Ref 4      | 1245           | 12                       | 300                       | 0,35       |

Figura 67: Extracto del cálculo de frecuencias de reaprovisionamiento

Para varias referencias, observamos que se requiere más de una entrega al día, confirmamos entonces el número de dos entregas por día. Como la planta trabaja en tres turnos, dos entregas al día significa una entrega cada 12 horas. Este plazo de 12 horas es importante para el resto del estudio. Es el tiempo entre 2 entregas y entonces el tiempo que nuestro nivel de stock debe cubrir. Este tiempo de 12 horas se denominará  $T_{a\_cubrir}$  en el algoritmo que se explica luego en este capítulo.

### 5.2.6. Determinación de la cantidad mínima de stock a tener en el almacén de fábrica

Dado que se pueden tener variaciones importantes entre la producción que fue planificada y la producción real, necesitamos un sistema de aprovisionamiento adaptado, que tiene en cuenta esta problemática. Para el cálculo de la cantidad que queremos tener en stock en el almacén de fábrica, se han establecido tres criterios. Los tres criterios que queremos cumplir son:

- ✓ Ser capaz de fabricar cualquier lote planificado dentro de los 7 próximos días laborables. Estos 7 días han sido fijados por el planificador y el director de la producción y corresponden al plazo que se planifica semanalmente. Por ejemplo, puede ocurrir que todos los programas de esos 7 días se fabriquen en un único lote.
- ✓ Asegurar 0 faltas de componentes.

- ✓ Tener la cantidad de stock mínima que permite cumplir los dos primeros criterios.

Tener en stock la cantidad mínima significa que tenemos que tener para cada referencia el mínimo de :

- ✓ La cantidad necesaria para cubrir las necesidades de esos 7 días de producción.
- ✓ La cantidad máxima que se puede consumir entre dos entregas.

La cantidad necesaria para cubrir las necesidades de esos 7 días de producción corresponden simplemente a la suma de todas las necesidades diarias correspondiente a esos 7 días calculadas por SAP. En nuestro caso, se calcula el MRP semanal en la noche del miércoles al jueves. En consecuencia, la planificación de la producción se realiza todos los jueves. Los 7 días corresponden entonces a los dos últimos días de la semana que quedan (jueves y viernes) más la semana siguiente. El cuadro siguiente enseña las necesidades brutas diarias calculadas por SAP y las necesidades acumuladas, que son la suma de las necesidades de los 7 próximos días.

|                            | Semana N |    |    |    |    |   |   | Semana N+1 |    |    |    |   |   |   |
|----------------------------|----------|----|----|----|----|---|---|------------|----|----|----|---|---|---|
|                            | L        | M  | X  | J  | V  | S | D | L          | M  | X  | J  | V | S | D |
| Necesidades diarias brutas | 10       | 20 | 10 | 5  | 20 |   |   | 0          | 15 | 20 | 10 | 5 |   |   |
| Necesidades acumuladas     |          |    |    | 75 | 75 |   |   | 75         | 75 | 75 |    |   |   |   |



Figura 68: Necesidades semanales para cubrir la producción planificada de 7 días con planificación semanal el jueves

El cálculo de la cantidad máxima que se puede consumir entre dos entregas será detallado en el punto 5.4.

## **5.3. Diseño de la herramienta: cálculo de las necesidades**

### **5.3.1. Presentación de la herramienta**

Como en los casos precedentes, el sistema ERP que utilizamos, SAP, no se puede modificar para realizar cálculos o crear una aplicación personalizada porque no se quiere pagar lo que cobra un programador de ABAP4, el lenguaje de programación de SAP. La empresa prefiere seguir con Microsoft Access. Por eso, esta herramienta será una base de datos externa al sistema ERP y será realizada con Microsoft Access. En las diferentes partes siguientes se detalla el procedimiento y los cálculos que realiza esta base de datos. Los pasos del punto 5.3.2 al punto 5.5.4 se realizan cada semana, cuando se establece un nuevo MRP y se realiza una nueva planificación. Los pasos posteriores al punto del punto 5.5.4 se actualizan cada vez que se necesita aprovisionar las líneas.

### **5.3.2. Obtención de los programas de fabricación**

De SAP se extraen los programas de fabricación para los 7 próximos días laborables. Esta consulta nos da como informaciones útiles una serie de registros compuestos entre otros de la referencia del producto a fabricar, de la cantidad que se va a fabricar y de la fecha de fin de la producción programada. Por ejemplo, si planificamos el día 01 de febrero de 2012 los 7 próximos días de producción, debemos obtener una tabla parecida a la siguiente:

| Referencia a producir | Línea   | Cantidad | Fecha de fin |
|-----------------------|---------|----------|--------------|
| Ref 1                 | Línea 1 | 12       | 01/02/2012   |
| Ref 2                 | Línea 2 | 34       | 01/02/2012   |
| Ref 3                 | Línea 1 | 16       | 01/02/2012   |
| Ref 1                 | Línea 1 | 22       | 02/02/2012   |
| Ref 4                 | Línea 3 | 12       | 02/02/2012   |

|        |         |    |            |
|--------|---------|----|------------|
| Ref 28 | Línea 2 | 30 | 08/02/2012 |
| Ref 2  | Línea 2 | 24 | 08/02/2012 |

Figura 69: Extracto del programa de fabricación

### 5.3.3. Agrupación de los programas de fabricación

Como hemos hecho una extracción sobre el número de días que ya nos interesa para nuestra planificación, 7, vamos a sumar todas las cantidades de producción de cada referencia cualquiera sea la fecha prevista de fabricación, dentro de esos 7 días. Así obtenemos las necesidades de fabricación globales para el plazo que queremos cubrir. Esto se hace realizando una consulta de selección.

Así obtenemos una nueva tabla que tendrá esta forma:

| Referencia a producir | Línea   | Cantidad total |
|-----------------------|---------|----------------|
| Ref 1                 | Línea 1 | 200            |
| Ref 2                 | Línea 2 | 306            |
| Ref 3                 | Línea 1 | 196            |
| Ref 4                 | Línea 3 | 178            |
| .....                 |         |                |
| Ref 28                | Línea 2 | 154            |

Figura 70: Extracto del programa agrupado

### 5.3.4. Cálculo de las necesidades de componentes

A partir de la lista de material de cada referencia podemos deducir el consumo de cada componente. La lista de material o bill of material en inglés (BOM) presenta para cada producto su desglose global. Este desglose precisa todos los componentes (hijos) que constituye cada producto (padres), que sea terminado o semi-terminado y también la cantidad de esos componentes que lleva un producto. Así de las necesidades de productos padres y de la cantidad de componentes por padre, deducimos las necesidades en componentes para los 7 días para los cuales queremos asegurar la producción.

$$\text{Necesidades componentes} = \text{Necesidades padres} \times \text{cantidad de hijos por padre}$$

## 5.4. Diseño de la herramienta: cálculo del consumo máximo

### 5.4.1. Definición del consumo máximo

Para pedir lo justo necesario, necesitamos conocer el consumo máximo de cada componente. El objetivo de este paso es pedir al almacén de consignación el mínimo entre :

- ✓ Lo que se puede consumir entre dos entregas.
- ✓ El consumo total previsto de la semana.

Para realizar este cálculo, para cada componente vamos a considerar la situación crítica siguiente:

- ✓ En cada línea en la cual uno o varios productos que llevan el componente estudiado tienen programas de fabricación, se fabrican esos productos.
- ✓ Todos esos productos que llevan el componente estudiado se fabrican en continuo por orden de menor a mayor tiempo de producción unitario hasta que no quede ningún producto que lleva el componente estudiado.

Con la secuencia de producción obtenida simulando esta situación, surgen dos posibilidades:

- ✓ Si esta secuencia de fabricación tarda menos que 12 horas, el nivel de stock debe permitir cubrir todas las necesidades.
- ✓ Si esta secuencia de fabricación tarda más que 12 horas, el nivel de stock debe permitir lograr todas las necesidades hasta llegar a 12 horas.

El consumo de cada componente se va a calcular a partir de los tiempos de producción estándares de los productos padres. Esos tiempos estándares son establecidos por el departamento de métodos.

Esta situación se debe simular en cada línea y luego, los consumos posibles calculados tienen que ser sumados. En efecto, las líneas trabajan en paralelo y pueden consumir un mismo componente al mismo tiempo.

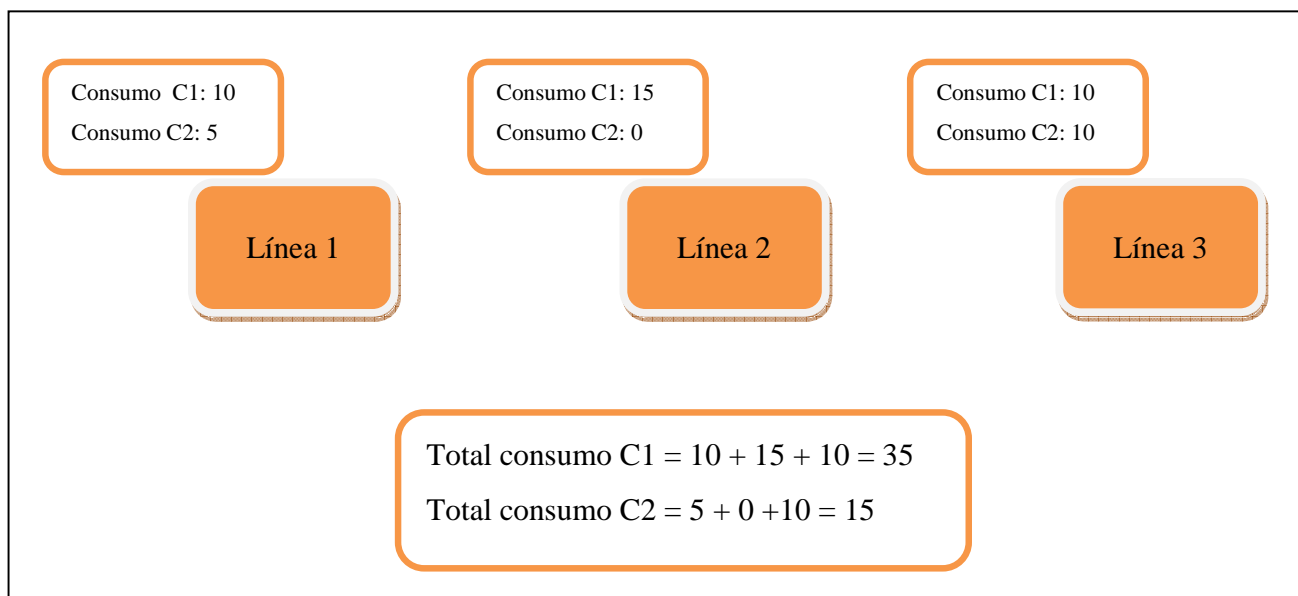


Figura 71: Consumo de componentes C1 y C2 en líneas paralelas simultáneamente



Así representamos la situación más crítica, si fabricamos todos los productos los más rápidos de fabricar seguidos.

#### 5.4.2. Ilustración del cálculo de consumo máximo con un ejemplo

Estudiamos 2 componentes Hijo 1, Hijo 2 que se consumen en varias líneas y que tienen las necesidades y las características siguientes :

| Padre   | Hijo   | Línea   | Tiempo unitario | Cantidad Padre | Cantidad Hijo | Tiempo producción lote |
|---------|--------|---------|-----------------|----------------|---------------|------------------------|
| Padre 1 | Hijo 1 | Línea 1 | 0,05            | 36             | 72            | 1,8                    |
| Padre 2 | Hijo 1 | Línea 1 | 0,1             | 45             | 45            | 4,5                    |
| Padre 3 | Hijo 2 | Línea 1 | 0,1             | 45             | 90            | 4,5                    |
| Padre 4 | Hijo 2 | Línea 1 | 0,15            | 34             | 68            | 5,1                    |
| Padre 1 | Hijo 2 | Línea 1 | 0,2             | 34             | 34            | 6,8                    |
| Padre 5 | Hijo 2 | Línea 2 | 0,2             | 68             | 68            | 13,6                   |

Figura 72: Campos de la tabla utilizada para calcular el consumo máximo de cada componente

Si para cada hijo, consideramos que se fabrican los padres por orden de tiempo unitario creciente, obtenemos las 3 secuencias de fabricación como en la figura abajo. Las barras representan el tiempo de producción y entonces de consumo de componentes y las cifras representan la cantidad de componentes consumidos.

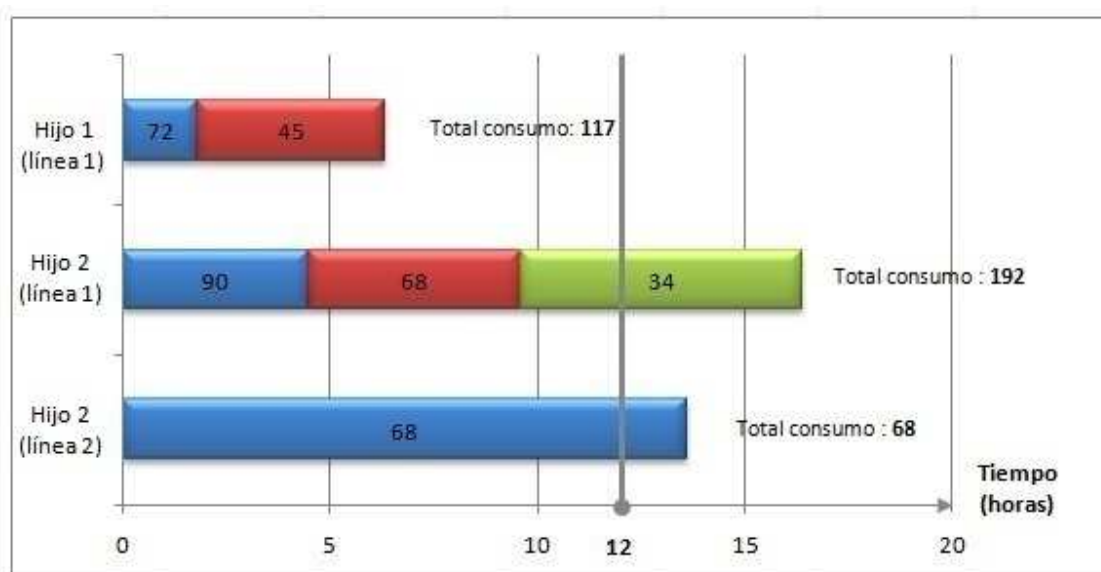


Figura 73: Secuencia de fabricación de lotes y consumo de materia sin realizar cálculos

Para unos componentes, el tiempo de producción es superior al tiempo entre dos entregas. Así el consumo también es superior a lo que se puede consumir en 12 horas. El objetivo de nuestro cálculo es obtener los datos siguientes :

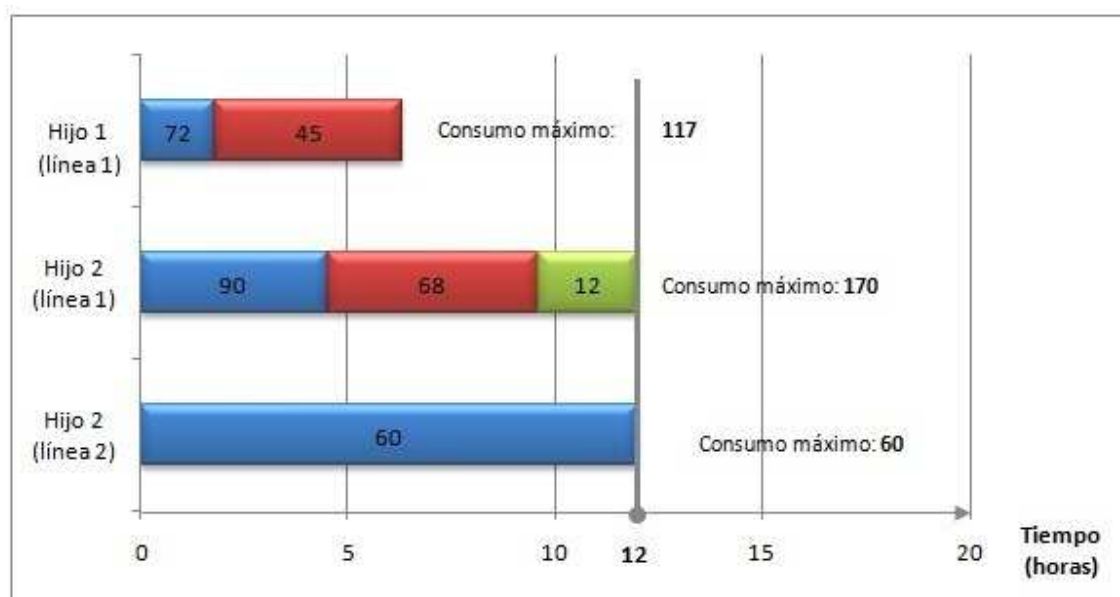


Figura 74: Secuencia de fabricación de lotes y consumo de materia después de calcular el consumo máximo

El consumo que tenemos en cuenta es o el consumo total si el tiempo de producción queda inferior a 12 horas como en el caso del Hijo 1, o el consumo obtenido hasta que el tiempo de producción llegue a 12 horas como para el Hijo 2 en la línea 1 y en la línea 2.

### 5.4.3. Preparación de los datos antes de realizar los cálculos

Para realizar esos cálculos, creamos la tabla presentada abajo.

| Padre   | Hijo   | Línea   | MOQ | T_unitario | Cantidad_Padre | Cantidad_Hijo | T_prod | Consumo_max |
|---------|--------|---------|-----|------------|----------------|---------------|--------|-------------|
| Padre 1 | Hijo 1 | Línea 1 | 200 | 0,05       | 36             | 72            |        |             |
| Padre 2 | Hijo 1 | Línea 1 | 200 | 0,1        | 45             | 45            |        |             |
| Padre 3 | Hijo 2 | Línea 1 | 400 | 0,1        | 45             | 90            |        |             |
| Padre 4 | Hijo 2 | Línea 1 | 400 | 0,15       | 34             | 68            |        |             |
| Padre 1 | Hijo 2 | Línea 1 | 85  | 0,2        | 34             | 34            |        |             |
| Padre 5 | Hijo 2 | Línea 2 | 85  | 0,2        | 68             | 68            |        |             |

Figura 75: Tabla utilizada para calcular el consumo máximo de cada componente

Los campos presentados en esta tabla están descritos abajo.

- ✓ *Padre* es la referencia del producto padre que se va a fabricar.
- ✓ *Hijo* es la referencia del componente que se integra en el padre y del cual queremos medir el consumo.
- ✓ *Línea* es la línea en la cual se monta el padre, y entonces donde se va a consumir el componente.
- ✓ *MOQ* (Minimum Order Quantity) es la cantidad mínima de pedido del componente posible. Corresponde a la cantidad de componentes que lleva una unidad de acondicionamiento (caja).
- ✓ *T\_unitario* es el tiempo de fabricación de un producto padre, o sea el tiempo en el cual se consume la cantidad de componentes que lleva este producto padre.
- ✓ *Cantidad\_Padre* es la cantidad de padres que queremos producir.
- ✓ *Cantidad\_Hijo* es la cantidad de hijos que se consumen, o sea la *Cantidad\_Padre* multiplicada por la cantidad de este componente que lleva un padre.

Esta tabla debe ser ordenada por *Hijo*, luego por *Línea* y luego por *Tiempo\_unitario*, todos por orden ascendente. Es importante ordenarla así para considerar para cada componente las condiciones previamente explicadas, es decir : fabricar en cada línea donde es posible todos los productos que llevan este componente, por orden de tiempo de fabricación de menor a mayor.

Las columnas *T\_prod* y *Consumo\_max* se dejan vacías de momento. Van a rellenarse gracias a un algoritmo y significan:

- ✓ *T\_prod* es el tiempo durante el que se está consumiendo el componente, es decir, el tiempo durante el que se está produciendo el padre.

- ✓ *Consumo\_max* permite justamente calcular el consumo que se realiza durante este tiempo  $T_{prod}$ .

Necesitamos también utilizar otro parámetro:  $T_{a\_cubrir}$ . Para este cálculo, hemos definido el valor de  $T_{a\_cubrir}$  en la parte 5.2.5 a 12 horas. Utilizaremos este valor de 12 horas en el algoritmo.

Ahora, disponemos de todos los parámetros necesarios para calcular el consumo máximo de cada componente y así determinar su nivel de inventario.

#### 5.4.4. Descripción detalla del algoritmo

En esta parte se detallan los pasos que realiza este algoritmo. El algoritmo en sí mismo está presentado en la parte siguiente 5.4.5.

Sea  $n$  el número de registros de nuestra tabla presentada en la *Figura 75: Tabla utilizada para calcular el consumo máximo de cada componente* e  $i$  el índice del registro de esta tabla estudiado. Para cada fila  $i$ , de 1 a  $n$ , si el hijo, o sea el componente que estudiamos, es idéntico al hijo del nivel  $i-1$  y la línea es igual a la línea del nivel  $i-1$ , el valor del tiempo de producción  $T_{prod}$  es igual al valor del tiempo de producción precedente más el valor del tiempo de producción del lote de nivel  $i$ , o sea :

$$T_{prod_i} = T_{prod_{i-1}} + Cantidad\_Padre_i \times Tiempo\_unitario_i$$

Mientras el valor de  $T_{prod}$  es inferior al valor del tiempo entre dos entregas  $T_{a\_cubrir}$ , el consumo máximo es igual a la suma del consumo máximo precedente más el consumo de este lote o sea :

$$Consumo\_max_i = Consumo\_max_{i-1} + Cantidad\_hijo_i$$

| i | Padre <sub>i</sub> | Hijo <sub>i</sub> | Línea <sub>i</sub> | MOQ <sub>i</sub> | T_unitario <sub>i</sub> | Cantidad_Padre <sub>i</sub> | Cantidad_Hijo <sub>i</sub> | T_prod <sub>i</sub> | Consumo_max <sub>i</sub> |
|---|--------------------|-------------------|--------------------|------------------|-------------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------|--------------------------|
| 1 |                    | Hijo 1            | Línea 1            |                  | 0,05                    | 36                          | 72                         | 1,8                 | 72                       |
| 2 |                    | Hijo 1            | Línea 1            |                  | 0,1                     | 45                          | 45                         | 6,3                 | 117                      |
| 3 |                    | Hijo 2            | Línea 1            |                  | 0,1                     | 45                          | 90                         |                     |                          |
| 4 |                    | Hijo 2            | Línea 1            |                  | 0,15                    | 34                          | 68                         |                     |                          |
| 5 |                    | Hijo 2            | Línea 1            |                  | 0,2                     | 34                          | 34                         |                     |                          |
| 6 |                    | Hijo 2            | Línea 2            |                  | 0,2                     | 68                          | 68                         |                     |                          |

Figura 76: Aplicación del algoritmo a las filas 1 y 2

En la primera fila, el tiempo de producción del lote es de 1,8 horas, es inferior a 12 horas. El valor del *Consumo\_max* es entonces de 72. Pasamos a la segunda fila. Trata el mismo componente Hijo 1 en la misma Línea 1, el tiempo de producción del segundo lote es de 4,5 horas. El tiempo acumulado *T\_prod* es de 6,3 y sigue inferior a 12 horas. Se consumen entonces 45 y el consumo acumulado, *Consumo\_max* es de de 117. Seguimos a la fila siguiente, la tercera.

Si la línea o la referencia del hijo o ambas cambian, entonces, reinicializamos el tiempo de producción *T\_prod* y el consumo máximo *Consumo\_max*. El tiempo de producción deviene en este caso:

$$T_{prod_i} = Cantidad\_Padre_i \times T_{unitario_i}$$

De la misma manera, el valor del consumo\_max es:

$$Consumo\_max_i = Cantidad\_Hijo_i$$

En la tercera fila, cambia la referencia del componente que es Hijo 2. Los valores de *T\_prod* y de *Consumo\_max* deben entonces reinicializarse.

| i | Padre <sub>i</sub> | Hijo <sub>i</sub> | Línea <sub>i</sub> | MOQ <sub>i</sub> | T_unitario <sub>i</sub> | Cantidad_Padre <sub>i</sub> | Cantidad_Hijo <sub>i</sub> | T_prod <sub>i</sub> | Consumo_max <sub>i</sub> |
|---|--------------------|-------------------|--------------------|------------------|-------------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------|--------------------------|
| 1 |                    | Hijo 1            | Línea 1            |                  | 0,05                    | 36                          | 72                         | 1,8                 | 72                       |
| 2 |                    | Hijo 1            | Línea 1            |                  | 0,1                     | 45                          | 45                         | 6,3                 | 117                      |
| 3 |                    | Hijo 2            | Línea 1            |                  | 0,1                     | 45                          | 90                         | <b>4,5</b>          | <b>90</b>                |
| 4 |                    | Hijo 2            | Línea 1            |                  | 0,15                    | 34                          | 68                         | <b>9,6</b>          | <b>158</b>               |
| 5 |                    | Hijo 2            | Línea 1            |                  | 0,2                     | 34                          | 34                         |                     |                          |
| 6 |                    | Hijo 2            | Línea 2            |                  | 0,2                     | 68                          | 68                         |                     |                          |

Figura 77: Aplicación del algoritmo a las filas 3 y 4

Para la fila 3, la referencia cambia. El valor de  $T_{prod}$  deviene entonces el tiempo de producción del lote, 4,5 y el  $Consumo_{max}$  deviene 90. Al pasar a la fila 4, no cambia ni la referencia del componente ni la línea, entonces repetimos el cálculo acumulando y obtenemos los datos puestos en la tabla de arriba. Sin embargo, al pasar a la línea 5, el tiempo de producción del lote es de 6,8 horas. El valor de  $T_{prod}$  es entonces de 16,4 horas, y superior a 12. Esto, implica una modificación para el cálculo del consumo.

Si el valor del tiempo de producción  $T_{prod}$  deviene superior al valor del tiempo entre dos entregas, el valor del consumo máximo es igual al consumo anterior más el consumo del lote pendiente hasta que el tiempo de producción logre 12 horas o sea:

$$Consumo_{max}_i = Consumo_{max}_{i-1} + \frac{Cantidad\_Hijo_i}{Cantidad\_Padre_i} \times \frac{12 - T_{prod}_{i-1}}{T_{unitario_i}}$$

| i | Padre <sub>i</sub> | Hijo <sub>i</sub> | Línea <sub>i</sub> | MOQ <sub>i</sub> | T_unitario <sub>i</sub> | Cantidad_Padre <sub>i</sub> | Cantidad_Hijo <sub>i</sub> | T_prod <sub>i</sub> | Consumo_max <sub>i</sub> |
|---|--------------------|-------------------|--------------------|------------------|-------------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------|--------------------------|
| 1 |                    | Hijo 1            | Línea 1            |                  | 0,05                    | 36                          | 72                         | 1,8                 | 72                       |
| 2 |                    | Hijo 1            | Línea 1            |                  | 0,1                     | 45                          | 45                         | 6,3                 | 117                      |
| 3 |                    | Hijo 2            | Línea 1            |                  | 0,1                     | 45                          | 90                         | 4,5                 | 90                       |
| 4 |                    | Hijo 2            | Línea 1            |                  | 0,15                    | 34                          | 68                         | 9,6                 | 158                      |
| 5 |                    | Hijo 2            | Línea 1            |                  | 0,2                     | 34                          | 34                         | <b>16,4</b>         | <b>170</b>               |
| 6 |                    | Hijo 2            | Línea 2            |                  | 0,2                     | 68                          | 68                         |                     |                          |

Figura 78: Aplicación del algoritmo a la fila 5

En la fila 5, el valor de  $T_{prod}$  es de 16,4. Aplicamos entonces la fórmula arriba que nos da:

$$Consumo_{max} = 158 + \frac{34}{34} \times \frac{12 - 9,6}{0,2} = 170$$

Una vez que el tiempo de producción  $T_{prod}$  ha superado el tiempo entre dos entregas  $T_{a\ cubrir}$ , el consumo no puede ser superior a este valor de consumo máximo que acabamos de calcular y el valor de  $Consumo_{max}$  se mantiene.

En la fila 6, la línea cambia, entonces, reinicializamos el tiempo de producción  $T_{prod}$  y el consumo máximo. El tiempo de producción ya supera las 12 horas. Entonces el consumo máximo debe ser igual al consumo posible hasta lograr esas 12 horas. El consumo máximo en este caso es entonces:

$$Consumo_{max_i} = \frac{Cantidad_{hijo_i}}{Cantidad_{padre_i}} \times \frac{12}{T_{unitario_i}}$$



| i | Padre | Hijo   | Línea   | MOQ | Tiempo unitario | Cantidad_Padre | Cantidad_Hijo | T_prod      | Consumo_max |
|---|-------|--------|---------|-----|-----------------|----------------|---------------|-------------|-------------|
| 1 |       | Hijo 1 | Línea 1 |     | 0,05            | 36             | 72            | 1,8         | 72          |
| 2 |       | Hijo 1 | Línea 1 |     | 0,1             | 45             | 45            | 6,3         | 117         |
| 3 |       | Hijo 2 | Línea 1 |     | 0,1             | 45             | 90            | 4,5         | 90          |
| 4 |       | Hijo 2 | Línea 1 |     | 0,15            | 34             | 68            | 9,6         | 158         |
| 5 |       | Hijo 2 | Línea 3 |     | 0,2             | 34             | 34            | 16,4        | 170         |
| 6 |       | Hijo 3 | Línea 2 |     | 0,2             | 68             | 68            | <b>13,6</b> | <b>60</b>   |

Figura 79: Aplicación del algoritmo a la fila 6

### 5.4.5. Algoritmo de cálculo del consumo máximo

Esta parte presenta el algoritmo en sí mismo.

Sea  $n$  el número de registros de la tabla presentada en la figura abajo e  $i$  el índice del registro de esta tabla estudiado.

| i  | Padre <sub>i</sub> | Hijo <sub>i</sub> | Línea <sub>i</sub> | MOQ <sub>i</sub> | T_unitario <sub>i</sub> | Cantidad_Padre <sub>i</sub> | Cantidad_Hijo <sub>i</sub> | T_prod <sub>i</sub> | Consumo_max <sub>i</sub> |
|----|--------------------|-------------------|--------------------|------------------|-------------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------|--------------------------|
| 1  | Padre 1            | Hijo 1            | Línea 1            | 200              | 0,05                    | 36                          | 72                         |                     |                          |
| 2  | Padre 2            | Hijo 1            | Línea 1            | 200              | 0,1                     | 45                          | 45                         |                     |                          |
| 3  | Padre 3            | Hijo 2            | Línea 1            | 400              | 0,1                     | 45                          | 90                         |                     |                          |
| .. | Padre 4            | Hijo 2            | Línea 1            | 400              | 0,15                    | 34                          | 68                         |                     |                          |
| .. | Padre 1            | Hijo 2            | Línea 1            | 85               | 0,2                     | 34                          | 34                         |                     |                          |
| n  | Padre 5            | Hijo 2            | Línea 2            | 85               | 0,2                     | 60                          | 68                         |                     |                          |

Figura 80 : Tabla para ilustrar el algoritmo

El algoritmo utilizado es el siguiente:

$$\text{Condición inicial: } \left\{ \begin{array}{l} T_{prod_0} = 0 \\ Consumo_{max_0} = 0 \\ Línea_0 = "" \\ Hijo_0 = "" \end{array} \right.$$

Para  $i = 1$  a  $n$

Si  $Linea_i = Linea_{i-1}$  e  $Hijo_i = Hijo_{i-1}$

$$T_{prod_i} = T_{prod_{i-1}} + Cantidad\_Padre_i \times T\_unitario_i$$

Si  $T_{prod_i} < 12$

$$Consumo\_max_i = Consumo\_max_{i-1} + Cantidad\_Hijo_i$$

Si no

Si  $T_{prod_{i-1}} < 12$

$$Consumo\_max_i =$$

$$Consumo\_max_{i-1} + \frac{Cantidad\_Hijo_i}{Cantidad\_Padre_i} \times \frac{12 - T_{prod_{i-1}}}{T\_unitario_i}$$

Si no

$$Consumo\_max_i = Consumo\_max_{i-1}$$

Si no

$$T_{prod_i} = T\_unitario_i \times Cantidad\_Padre_i$$

Si  $T_{prod_i} < 12$

$$Consumo\_max_i = Cantidad\_Hijo_i$$

Si no

$$Consumo\_max_i = \frac{Cantidad\_Hijo_i}{Cantidad\_Padre_i} \times \frac{12}{T\_unitario_i}$$

Próximo  $i$

Este algoritmo nos permitió realizar cálculos intermedios. Ahora nos quedan dos pasos para obtener los consumos máximos para cada componente:

- ✓ Extraer para cada hijo y cada línea el valor máximo del consumo.
- ✓ Sumar para cada hijo los valores de estos consumos en las diferentes líneas.

## 5.5. Diseño de la herramienta: cálculos secundarios y puesta en forma de los datos

### 5.5.1. Selección del máximo del consumo de cada hijo en cada línea

Para extraer los valores con el consumo máximo por línea, se necesita realizar una consulta que agrupa los campos *Hijo*, *Línea*, *MOQ* de la tabla y que seleccione el máximo del campo *Consumo\_max*. Todos los otros campos ya no están tenidos en cuenta. Así tenemos el consumo máximo de cada componente por línea. Esta consulta nos devuelve el resultado siguiente :

| Hijo   | Línea   | MOQ | Consumo_max |
|--------|---------|-----|-------------|
| Hijo 1 | Línea 1 | 200 | 117         |
| Hijo 2 | Línea 1 | 85  | 170         |
| Hijo 2 | Línea 2 | 85  | 60          |

Figura 81: Selección de los consumos máximos por línea

### 5.5.2. Suma de los consumos de diferentes líneas para un mismo hijo

Como lo hemos dicho antes, suponemos que un componente se consume al mismo tiempo en todas las líneas donde puede ser consumido. Su consumo máximo posible es la suma de los consumos posibles en cada línea. Para eso se crea una nueva consulta que va agrupar los campos *Hijo*, *Línea*, *MOQ* y que va a sumar el campo *Consumo\_max* como lo enseña la tabla abajo.

| Hijo   | MOQ | Consumo_max |
|--------|-----|-------------|
| Hijo 1 | 200 | 117         |
| Hijo 2 | 85  | 230         |

Figura 82: Suma de los consumos de cada línea

### 5.5.3. Expresión de este consumo máximo posible por caja

Ahora conocemos nuestras necesidades en términos de piezas. Sin embargo, tenemos que interpretar en unidades de acondicionamiento, es decir en número de cajas. Efectivamente, la finalidad de este cálculo no es saber cuántas piezas necesitamos, sino cuántas cajas deben permanecer almacenadas, y cuántas cajas deben ser repuestas, llevadas del almacén de consignación al almacén de fábrica para asegurar este stock mínimo.

Por eso, necesitamos el MOQ que corresponde a la cantidad de piezas por caja. Expresado en cantidad de cajas, la cantidad de stock mínimo que debemos tener debe ser el ratio del consumo total posible sobre el MOQ redondeado al entero superior. Por analogía con una técnica JIT desarrollada por Valeo, vamos a llamar a esta cantidad de cajas que necesitamos en stock "bucle". Tenemos entonces:

$$Bucle = E\left(\frac{Consumo\ total\ posible}{MOQ}\right) + 1$$

Esta cantidad se determina el jueves cuando se hace la planificación semanal y permanece la misma para toda la semana.

| Hijo   | MOQ | Consumo_max | Bucle |
|--------|-----|-------------|-------|
| Hijo 1 | 200 | 117         | 1     |
| Hijo 2 | 85  | 230         | 3     |

Figura 83: Obtención de los bucles

#### 5.5.4. Información de ubicaciones para recoger y llevar las piezas

Además de la cantidad de cajas que el operario logístico tiene que llevar, necesita saber la ubicación donde tendrá que ir a recoger las piezas, y dónde tendrá que llevarlas. Cada referencia tiene una ubicación definida en cada uno de los dos almacenes distintos: el almacén de consigna y el almacén de fábrica.

Estos datos están ubicados en dos tablas distintas. Una se llama [Consigna] y la otra [Fábrica]. Ambas contienen todos los componentes y las ubicaciones físicas de la planta que le son asignadas. Las dos tienen dos campos que son:

- ✓ Material : es la referencia del producto
- ✓ Ubicación : es la ubicación asignada a este producto en el almacén considerado

Vamos a añadir a la consulta precedente dos campos que vamos a nombrar consigna y fábrica y que dan la ubicación.

| Hijo   | MOQ | Consumo_max | Bucle | Consigna   | Fábrica   |
|--------|-----|-------------|-------|------------|-----------|
| Hijo 1 | 200 | 117         | 1     | PLAT-A-1-3 | FAB-B-1-1 |
| Hijo 2 | 85  | 230         | 3     | PLAT-C-2-4 | FAB-A-3-2 |

Figura 84: Adjunto de las ubicaciones

#### 5.5.5. Alternativa al bucle: cálculo de las necesidades netas

En varias técnicas JIT utilizadas por Valeo, se realiza un recuento antes de cada abastecimiento. Permite tener un control total del inventario y así eliminar los riesgos de rotura debidos a información del nivel de stock errónea. Sin embargo, tratamos un número importante de referencias y además como los componentes están físicamente presentes en la planta, una falta de abastecimiento debida a un mal inventario puede ser resuelto mucho más rápidamente.

En efecto, si no hubiera un almacén de consignación, si se detecta una falta de stock que requiere una entrega desde un proveedor, el lead time total se desglose en

diferentes elementos, e integran la responsabilidad y la disponibilidad de varios actores como lo muestra el ciclo de la figura siguiente:

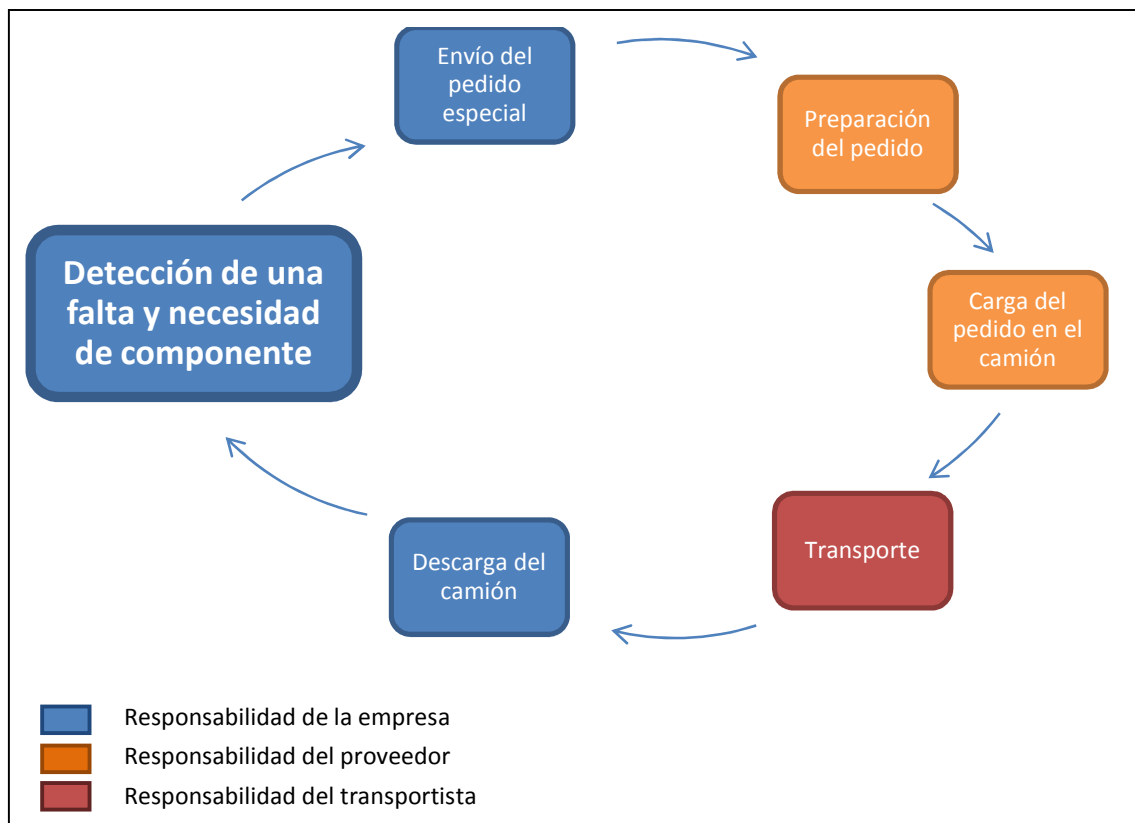


Figura 85: Ciclo de reaprovisionamiento externo

Además, este caso es un caso optimista porque consideramos que el proveedor tiene el producto que necesitamos en stock. En un peor caso, podríamos añadir el lead time asociado al tiempo de fabricación de este producto. Al tiempo perdido hay también que generar costes suplementarios. Para cada falta se necesita organizar un transporte especial con entrega directa que tiene un coste muy alto.

Como con el caso de la consigna el material ya está físicamente presente en la planta, supuestamente en cantidad necesaria, el plazo entre la detección de falta y la cobertura de esta falta es muy inferior. En consecuencia, podemos elegir ahorrar el tiempo y el

coste que representa el recuento y fiarnos a los stocks indicados por el sistema de información ERP. Así en lugar de tener una cantidad de stock fija que el operario tiene que comparar con el nivel de stock real para calcular las cantidades de cajas que tiene que llevar, el operario logístico tendrá directamente un informe que le da las referencias de los componentes que se necesitan con la cantidad de cajas asociadas. Sin embargo, si no es necesario hacer un recuento sistemático, hay que hacer un recuento periódico para comprobar que la cantidad de stock en fábrica según SAP es coherente con la cantidad de stock presente físicamente.

### **5.5.6. Expresión de la cantidad a llevar**

En esta parte queremos comparar para cada referencia esta cantidad de stock necesaria que hemos llamado bucle con el nivel de stock en fábrica. El objetivo de esta parte es devolver la información siguiente:

- ✓ Qué referencias necesitamos reponer.
- ✓ Para esas referencias, cuántas cajas necesitamos reponer.
- ✓ Dónde se ubican esas referencias en el almacén de consigna.
- ✓ Dónde se ubican esas referencias en el almacén de la fábrica.

Para esto necesitamos integrar nuevos datos que son las cantidades de stocks de cada referencia mencionadas. Estos nuevos datos están en una tabla stock. Esta tabla debe contener por lo menos los tres campos:

- ✓ Material: la referencia del material mencionado.
- ✓ Stock en fábrica: la cantidad de stock de este material presente en el almacén de fábrica.
- ✓ Stock en consigna: la cantidad de stock de este material en el almacén de consigna.

El objetivo de este nuevo paso es integrar dos nuevas condiciones:

- ✓ Seleccionar únicamente las referencias que tienen un stock en fábrica inferior al consumo total posible.
- ✓ Seleccionar únicamente las referencias que tienen un stock no nulo en consigna.

La primera condición ya ha sido comentada. La segunda condición es importante para que el operario logístico no pase tiempo para buscar referencias que tienen necesidades de abastecimiento, pero que no tenemos en stock en consigna y que necesitan entonces una entrega del proveedor.

| Hijo   | MOQ | Consumo_max | Consigna   | Fábrica   | Stock Consigna | Stock Fábrica |
|--------|-----|-------------|------------|-----------|----------------|---------------|
| Hijo 1 | 200 | 117         | PLAT-A-1-2 | FAB-A-2-2 | 600            | 58            |
| Hijo 2 | 85  | 230         | PLAT-A-1-7 | FAB-B-1-3 | 340            | 96            |

*Figura 86: Adjunto de los stocks*

Como para el caso precedente, es necesario convertir el número de piezas a reponer en número de cajas e indicar también las ubicaciones de esas referencias en el almacén de consigna y en el de la fábrica. El trámite es idéntico al detallado precedentemente. Sin embargo tenemos una nueva condición: Si la cantidad de stock en consigna es superior a 0 pero es inferior al consumo total posible, tenemos que llevar esta referencia, solamente con la cantidad que tenemos en stock. Por ejemplo, si para una referencia tenemos una necesidad de reaprovisionamiento de 2 cajas pero tenemos solamente una en el stock de consigna, el operador logístico debe recibir la orden de llevar una única caja. La cantidad a llevar debe ser entonces el mínimo del stock en consigna y del consumo total posible. En lugar de llamar a la cantidad de stock mínimo bucle como en el caso anterior, vamos a llamar este campo "Cajas a llevar". Esta cantidad se expresa de la manera siguiente:



$$Cajas\ a\ llevar = E \left( \frac{\text{Mín}(\text{Consumo\_max} - \text{Stock Fábrica}; \text{Stock Consigna})}{MOQ} \right) + 1$$

| Hijo   | MOQ | Consumo_max | Consigna   | Fábrica   | Stock Consigna | Stock Fábrica | Cajas a llevar |
|--------|-----|-------------|------------|-----------|----------------|---------------|----------------|
| Hijo 1 | 200 | 117         | PLAT-A-1-2 | FAB-A-2-2 | 600            | 58            | 1              |
| Hijo 2 | 85  | 230         | PLAT-A-1-7 | FAB-B-1-3 | 340            | 96            | 2              |

Figura 87: Determinación del número de cajas a llevar

### 5.5.7. Lanzamiento de la orden de facturación

Cuando se saca un componente del almacén de consigna, debe ser facturado y pagado al proveedor. Por lo tanto, no es suficiente dar al operario logístico la información de cuántas cajas tiene que sacar sino también hay que enviar al responsable de almacén la cantidad de piezas que tiene que declarar para descontar el stock de consigna y pagar al proveedor. Para cada referencia, la cantidad a descontar para su facturación es:

$$A\ descontar = Cajas\ a\ llevar * MOQ$$

| Hijo   | MOQ | Consumo_max | Consigna   | Fábrica   | Stock Consigna | Stock Fábrica | Cajas a llevar | A descontar |
|--------|-----|-------------|------------|-----------|----------------|---------------|----------------|-------------|
| Hijo 1 | 200 | 117         | PLAT-A-1-2 | FAB-A-2-2 | 600            | 58            | 1              | 200         |
| Hijo 2 | 85  | 230         | PLAT-A-1-7 | FAB-B-1-3 | 340            | 96            | 2              | 170         |

Figura 88: Cálculo de las cantidades a descontar

### 5.5.8. Detección de faltas

Así podemos detectar si la cantidad que se debe llevar al almacén de la fábrica es superior al stock que disponemos en consigna. Esto consiste en un indicador interesante de riesgo de falta para el aprovisionador encargado de esas referencias. Esta información la gestiona únicamente el aprovisionador. Realiza un estudio más detallado para investigar un eventual riesgo de falta. Puede comprobar si el stock se ha consumido más rápidamente que previsto, si permite cubrir las necesidades hasta la próxima entrega ya planificada o si se necesita realizar un pedido urgente. La

información que interesa al aprovisionador es la cantidad de stock total (Stock Fábrica + Stock Consigna) de las referencias para las cuales se han detectado un nivel bajo.

| Material | Consumo_max | Stock Fábrica | Stock Consigna |
|----------|-------------|---------------|----------------|
| Hijo 3   | 110         | 8             | 100            |
| Hijo 4   | 300         | 0             | 0              |
| Hijo 5   | 225         | 70            | 0              |
| Hijo 6   | 380         | 9             | 150            |

Figura 89: Informe de niveles de inventario inferiores al consumo total posible

Los datos contenidos en la tabla arriba son sin relación con las tablas anteriormente presentadas. Este fichero puede ser consultable:

- ✓ En la aplicación Access.
- ✓ En un fichero Excel grabado en un repertorio definido.
- ✓ En un fichero Excel, enviado por correo al aprovisionador.

### 5.5.9. Presentación de los datos

Ahora, disponemos de toda la información necesaria y sólo hace falta ponerla en forma. Para eso se van a generar dos informes. El primero será para el operario logístico que va a recoger y abastecer las cajas de componentes. El segundo es para el responsable de almacén que tiene que asegurarse que la facturación se realice en toda conformidad. Esos dos informes se imprimen automáticamente, se adjuntan en la página siguiente:



**Copia para el conductor de tren**



Valeo Fuenlabrada  
Departamento de logística

Responsable : Bastien GUILLOT

**Reaprovisionamiento de muelles en consignación**

| Material | Cajas a llevar | En Plataforma | En Dinamico |
|----------|----------------|---------------|-------------|
| Hijo 1   | 3              | PLAT-A-1-3    | FAB-B-1-1   |
| Hijo 2   | 2              | PLAT-C-2-4    | FAB-A-3-2   |
| Hijo 3   | 1              | PLAT-A-2-5    | FAB-B-1-7   |

jeudi 23 février 2012  
12:50:33

Página 1 de 1

Figura 90: informe para el operario logístico



**Copia para el Team Leader**

 Valeo Fuenlabrada  
Departamento de logística  
Bastien GUILLOT

Reaprovisionamiento de muelles

| Material | Cantidad a descontar de SAP |
|----------|-----------------------------|
| Hijo 1   | 200                         |
| Hijo 2   | 170                         |

jeudi 23 février 2012 12:50:33

Página 1 de 1

Figura 91: Informe para el team leader de almacén



---

## 6. Presupuesto

El presupuesto de este proyecto se desglosa principalmente en costes humanos. La mayor parte corresponde al tiempo dedicado para la realización de esas herramientas y también al tiempo dedicado a la formación del ingeniero junior.

También se tienen en cuenta los costes de material y software utilizado, un ordenador y la licencia de Microsoft Office 2003.

El presupuesto global se eleva a 25 254€. Está presentado en detalle en la página siguiente.

**UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID**  
**Escuela Politécnica Superior****PRESUPUESTO DE PROYECTO****1.- Autor: Bastien GUILLOT****2.- Departamento: Industrial****3.- Descripción del Proyecto:**

- Diseño de herramientas de gestión de la producción adaptadas a la industria del recambio del automóvil
- 7 meses

Tasa de costes Indirectos:

**20%****4.- Presupuesto total del Proyecto (valores en Euros):**

25 254,00 Euros

**5.- Desglose presupuestario (costes directos)****PERSONAL**

| Apellidos y nombre     | N.I.F. (no rellenar - solo a título informativo) | Categoría        | Dedicación (hombres mes) <sup>a)</sup> | Coste hombre mes | Coste (Euro)     | Firma de conformidad |
|------------------------|--|------------------|--|------------------|------------------|----------------------|
| Gines Saura Saura      |  | Ingeniero Senior | 0,5                                    | 4 289,54         | 2 144,77         |                      |
| Bastien Guillot        |  | Ingeniero        | 7                                      | 2 694,39         | 18 860,73        |                      |
| <b>Hombres mes 7,5</b> |  |                  |  | <b>Total</b>     | <b>21 005,50</b> |                      |

<sup>a)</sup> 1 Hombre mes = 131,25 horas. Máximo anual de dedicación de 12 hombres mes (1575 horas)  
Máximo anual para PDI de la Universidad Carlos III de Madrid de 8,8 hombres mes (1.155 horas)

**EQUIPOS**

| Descripción            | Coste (Euro) | % Uso dedicado proyecto | Dedicación (meses) | Periodo de depreciación | Coste imputable <sup>d)</sup> |
|------------------------|--------------|-------------------------|--------------------|-------------------------|-------------------------------|
| Ordenador Dell XPS 420 | 500,00       | 60                      | 7                  | 60                      | 35,00                         |
| MS Office 2003         | 69,00        | 60                      | 7                  | 60                      | 4,83                          |
| <b>Total</b>           |              |                         |                    |                         | <b>39,83</b>                  |

<sup>d)</sup> Fórmula de cálculo de la Amortización:

$$\frac{A}{B} \times C \times D$$

**A** = nº de meses desde la fecha de facturación en que el equipo es utilizado**B** = periodo de depreciación (60 meses)**C** = coste del equipo (sin IVA)**D** = % del uso que se dedica al proyecto (habitualmente 100%)**SUBCONTRATACIÓN DE TAREAS**

| Descripción  | Empresa | Coste imputable |
|--------------|---------|-----------------|
|              |         |                 |
| <b>Total</b> |         | <b>0,00</b>     |

**OTROS COSTES DIRECTOS DEL PROYECTO<sup>e)</sup>**

| Descripción  | Empresa | Costes imputable |
|--------------|---------|------------------|
|              |         |                  |
| <b>Total</b> |         | <b>0,00</b>      |

<sup>e)</sup> Este capítulo de gastos incluye todos los gastos no contemplados en los conceptos anteriores, por ejemplo: fungible, viajes y dietas, otros,...

**6.- Resumen de costes**

| Presupuesto Costes Totales | Presupuesto Costes Totales |
|----------------------------|----------------------------|
| Personal                   | 21 006                     |
| Amortización               | 40                         |
| Subcontratación de tareas  | 0                          |
| Costes de funcionamiento   | 0                          |
| Costes Indirectos          | 4 209                      |
| <b>Total</b>               | <b>25 254</b>              |

## 7. Conclusiones

### 7.1. Una experiencia rica dentro de una gran empresa

Esta beca dentro del departamento de logística/planificación ha sido una experiencia muy interesante que me permitió perfeccionar temas que había estudiado en la universidad y también descubrir nuevas cosas como SAP por ejemplo. Durante los 7 meses que he pasado con el equipo de la planta de Fuenlabrada, además de aprender, también he aportado conocimientos nuevos particularmente mis conocimientos en programación con Visual Basic que han permitido desarrollar las herramientas de gestión de órdenes.

### 7.2. Las herramientas desarrolladas

La planta de Valeo de Fuenlabrada en la que se ha realizado este proyecto tiene unas características particulares :

- ✓ Fabrica componentes de recambio del automóvil, lo que es una actividad minoritaria dentro del grupo.
- ✓ Como la competencia es menos dura para la fabricación de recambio que para la fabricación de piezas para vehículos nuevos, se dedican menos esfuerzos para la mejora.
- ✓ No se han desarrollado herramientas estándares para la fabricación de recambios. Muchas operaciones de gestión de la producción se hacen a mano y presentan puntos débiles.
- ✓ Ni la dirección del grupo ni la dirección de la planta quiere invertir en el desarrollo de SAP, por razones de costo y de uso restringido a una única planta. Por eso, se sigue utilizando el software de base de datos Microsoft Access.

Antes de realizar este proyecto, algunas tareas de planificación de la producción se hacían a mano y requerían la dedicación exclusiva de dos personas. Para mejorar esta situación, se han desarrollado tres herramientas a medida para la planta de Fuenlabrada :

- ✓ Herramienta 1 : un gestor de órdenes para una prensa mecánica.

Esta herramienta permite secuenciar las órdenes de fabricación de piezas de cortes teniendo en cuenta las características del proceso (tamaño del lote que depende de la materia prima, tamaño grande...) y de la demanda de cliente que es muy variable. Esta herramienta permite al operario de prensa ser autónomo para emitir y gestionar las órdenes y también para gestionar las incidencias.

- ✓ Herramienta 2 : un secuenciador para una línea de montaje.

Debido al alto número de referencias y a la carga muy alta de las líneas de montaje, deseamos secuenciar la fabricación de estas líneas para no dejar huecos y para minimizar los cambios de referencia. Es lo que permite hacer esta herramienta, fabricando cuando es posible inventario a corto plazo que siempre está controlado. También el operario recibe las órdenes de fabricación directamente en su puesto de trabajo, en la pantalla de un ordenador, y las gestiona de manera autónoma.

- ✓ Herramienta 3 : un sistema de reaprovisionamiento a partir de un stock de consignación.

Como no podemos trabajar sin stock, debemos encontrar técnicas que limitan su impacto negativo, particularmente financiero. Trabajar con un stock de consignación justamente lo permite. Esta herramienta permite limitar las inmovilizaciones financieras de stock calculando las cantidades mínimas a tener y permitiendo también una cierta flexibilidad en la planificación de la producción. Otra vez, con esta herramienta, el operario logístico es autónomo para gestionar el reaprovisionamiento de las líneas de fabricación.



### **7.3. Una mejora de la autonomía de los centros de producción**

La mayor mejora aportada por esas herramientas es sin duda el aumento de la autonomía de los puestos de trabajos. Gracias a esas aplicaciones, sólo algunas operaciones semanales siguen siendo realizadas por un planificador, el operario puede emitir y consultar en su puesto de trabajo todas las órdenes de fabricación o las cantidades a llevar al almacén de fábrica.

### **7.4. Una mejora de la eficiencia de los centros de producción**

Además de ofrecer autonomía a los centros de producción, este trabajo permite mejorar también su eficiencia. Permite particularmente:

- ✓ Mejorar la eficiencia de las líneas gracias a la secuenciación y la priorización de las órdenes.
- ✓ Eliminar la sobreproducción gracias a órdenes explícitas y eliminando la confusión anterior posible durante la transmisión de esas órdenes.
- ✓ Limitar el inventario gracias a este mejor control de la producción y a herramientas enfocadas en su disminución. Por ejemplo, el valor del stock inmovilizado de los componentes funcionando con sistema de consignación ha bajado de 28 000 € a 12 000 € gracias a esta herramienta.
- ✓ Mejorar la fabricación de piezas a tiempo gracias a una mejor utilización de las máquinas y un seguimiento de las necesidades de fabricación más sencillo.

### **7.5. Una ampliación posible y sencilla de este trabajo**

Las tres herramientas han sido implantadas para una aplicación en particular. Sólo tenemos un proveedor funcionando con un stock de consignación, el secuenciador se ha implantado en una línea de montaje y el gestor de órdenes se ha implantado en una

prensa mecánica. Ahora que tenemos la metodología establecida, podemos extender el uso de esas herramientas dentro de la planta. Por ejemplo, es más fácil integrar nuevos proveedores con stock de consignación. Ya tenemos la herramienta y la metodología establecidas. Se necesitan pocas adaptaciones para utilizar la aplicación de aprovisionamiento de líneas con otro proveedor. Además, el gestor de orden creado para la prensa mecánica puede utilizarse también para otras prensas o para procesos similares como los hornos. Por fin el secuenciador que se ha desarrollado para una línea puede adaptarse para otras líneas de montaje que tienen las mismas características.

### **7.6. Límites de este trabajo: duplicación de datos y riesgos asociados**

Sin embargo este trabajo presenta un punto débil. Los cálculos realizados en esas tres herramientas implican el uso de otro sistema de base de datos que el ERP. Tenemos que duplicar la información mientras que el objetivo de un ERP es justamente centralizar toda la información y evitar su duplicación. Esto implica un cierto riesgo de error y de alteración de la información. Puede ocurrir un problema durante la exportación, se pueden modificar datos después de errores de manipulación. También, implica que se actualicen los datos con varias frecuencias (semanales o antes de utilizar). Se puede también tener problemas con uso de datos no actualizados, o imposibilidad de uso si la persona responsable de esta actualización está ausente y nadie sabe hacerlo en la empresa.

Que SAP pueda realizar esas operaciones permitiría eliminar los riesgos de errores debidos a esas transacciones entre SAP y Access y también reducir el número de operaciones. Si la política de la dirección de la planta y la dirección nacional vienen a cambiar y quieren desarrollar SAP para responder a las necesidades de cada planta, podemos considerar este proyecto como un estudio funcional, diseñado por un ingeniero industrial, que en un segundo paso, un programador o un consultor SAP



podrá seguir y realizar justamente esta integración. En este caso, este trabajo podría ser aún más valorable para la planta de Valeo Fuenlabrada.



# Bibliografía

## Libros

AMELOT Michèle, VBA Access 2010 Programmer sous Access, 2010, Editions ENI, ISBN : 978-2-7460-5527-8

CHASE Richard B., AQUILANO Nicholas J., JACOBS F. Robert, Manual de operaciones de manufactura y de servicios, 2001, Mc Graw Hill, ISBN: 958-41-0323-7

FOGARTY Donald W., BLACKSTONE John H. Jr, HOFFMANN Thomas R., Production and inventory management, 1991, South-Western Publishing Co, ISBN: 0-538-07461-2

HUTCHINS David, Just in Time, Segunda edición, 1988, Gower Pub Co, ISBN: 0566077981

Insights on IMPLEMENTATION, Lean Supply Chain Collected practices and cases, 2006, Productivity Press, ISBN: 1-56327-330-6

MONDEN Yasuhiro, El Just In Time hoy en Toyota, 1996, Ediciones Deusto SA, ISBN 84-234-1442-6

SAWIK Tadeusz, Scheduling in Supply Chain using mixed integer programming, 2011, John Wiley & Sons, ISBN: 978-0-4709-3573-6

SHEN Alexander, Algorithms and Programming, Problems and Solutions, Segunda edición, 2010, Springer, ISBN: 978-1-4419-1747-8

VOLLMANN Thomas E., BERRY William L., WHYBARK David C., Administración integral de la producción y de los inventarios: revitalización de las empresas manufactureras, 2000, Limusa Noriega Editores, ISBN: 968-18-5378-4



## Páginas Web

<http://es.wikipedia.org/wiki/ERP>, accedido en febrero 2012

<http://es.wikipedia.org/wiki/Valeo>, accedido en febrero 2012

<http://www.supplyfow.org/>, accedido en febrero 2012

<http://www.valeo.com>, accedido en febrero 2012

<http://cerig.efpg.inpg.fr/tutoriel/bases-de-donnees/sommaire.htm>, accedido en diciembre 2011

Valeo campus, accedido en enero 2012



# **Anexos**

## I- Resumen de los pasos realizados por la base de datos de la herramienta 1

**Paso 1:**  
Obtención de los  
programas de fabricación

Origen de datos: SAP

Acción:  
Extracción de los programas de fabricación del SAP e importación en Access

Destinación de datos: Tabla *Programas de fabricación*

**Paso 2:**  
Selección de los  
programas de fabricación  
de la prensa y del plazo  
estudiados

Origen de datos: Tabla *Programas de fabricación*

Acción: Consulta con sintaxis SQL:

```
SELECT [Programas de fabricación].Material, [Programas de  
fabricación].[Ctd#orden], [Programas de fabricación].[fecha]  
FROM [Programas de fabricación]  
WHERE ((([Programas de fabricación].[fecha]<IIf(Weekday(Date(),0)=4 OR  
Weekday(Date(),0)=5,Date()+It+2, Date()+It))) AND (([Programas de  
fabricación].Línea)="prensa 1"));
```

Destinación de datos: Consulta *60-Selección necesidades*

**Paso 3:**  
Agrupación de las  
necesidades e integración  
de los stocks

Origen de datos: Tabla *60-Selección necesidades*

Operación: Consulta con sintaxis SQL:

```
SELECT [60-Selección necesidades].Material, Sum([60-Selección  
necesidades].[Ctd#orden]) AS [SumaDeCtd#orden], First([60-Selección  
necesidades].[Fin-plan]) AS [PrimeroDeFin-plan]  
FROM [60-Selección necesidades]  
GROUP BY [60-Selección necesidades].Material  
ORDER BY [60-Selección necesidades].Material;
```

Destinación de datos: Consulta *61-Necesidades agrupadas*

E  
M  
I  
S  
I  
Ó  
N  
  
D  
E  
  
Ó  
R  
D  
E  
N  
E  
S

**Paso 4:**  
Cálculo del consumo  
máximo

Origen de datos: Consulta 61-Necesidades agrupada, Tablas BOM, Características Artículos, Stock disponible

Acción:

```
SELECT [61-Necesidades agrupadas].Material, [Características Artículos].[Stock de seguridad], [61-Necesidades agrupadas].[SumaDeCtd#orden], [Stock disponible].[Stock disponible], [Stock disponible].[Stock disponible]-([SumaDeCtd#orden]+[Características Artículos].[Stock de seguridad]) AS Criterio, [Características Artículos].Tecnología, BOM.Referencia AS Bobina
FROM BOM INNER JOIN ((([61-Necesidades agrupadas] INNER JOIN [Características Artículos] ON [61-Necesidades agrupadas].Material = [Características Artículos].Material) INNER JOIN [Stock disponible] ON [61-Necesidades agrupadas].Material = [Stock disponible].Material) LEFT JOIN [Ordenes pendientes] ON [61-Necesidades agrupadas].Material = [Ordenes pendientes].Material) ON BOM.Padre = [61-Necesidades agrupadas].Material
WHERE ((([Stock disponible].[Stock disponible]-([SumaDeCtd#orden]+[Características Artículos].[Stock de seguridad]))<0)
AND (([Ordenes pendientes].Material) Is Null))
ORDER BY [Stock disponible].[Stock disponible]-([SumaDeCtd#orden]+[Características Artículos].[Stock de seguridad]), [Características Artículos].Tecnología;
```

Destinación de datos: Consulta 62-Lanzamientos órdenes

**Paso 5:**  
Creación de una tabla de  
nuevas órdenes

Origen de datos: Consulta 62-Lanzamientos órdenes

Sintaxis SQL:

```
SELECT [62-Lanzamientos ordenes].* INTO [Nuevas órdenes]
FROM [62-Lanzamientos ordenes];
```

Destinación de datos: Tabla *Nuevas órdenes*

**Paso 6:**  
Actualización de la tabla  
Órdenes de fabricación

Origen de datos: Tabla *Nuevas órdenes*

Sintaxis SQL:

```
INSERT INTO [Órdenes de fabricación]
SELECT [62-Lanzamientos ordenes].*
FROM [62-Lanzamientos ordenes];
```

Destinación de datos: Tabla *Órdenes de fabricación*



**Paso 7:**  
Emisión de ordenes definitivas

Origen de datos: Tablas *Ordenes de fabricación*, *Nuevas ordenes*

Sintaxis SQL:

```
SELECT [Ordenes de fabricacion].[Numero Orden] AS [Numero Orden], [Nuevas ordenes].Material, [Nuevas ordenes].Tecnología, [Nuevas ordenes].Bobina
FROM [Nuevos ordenes] INNER JOIN [Ordenes de fabricacion] ON [Nuevas ordenes].Material = [Ordenes de fabricacion].Material
WHERE ((([Ordenes de fabricacion].[¿Procesado?])=No))
ORDER BY [Ordenes de fabricacion].[Numero Orden];
```

Destinación de datos: Consulta *65-Ordenes definitivas*

**Paso 8:**  
Realización e impresión de las tarjetas

Origen de datos: Consulta *65-Ordenes definitivas*

Acción: Realización e impresión de las tarjetas

Destinación de datos: Hojas de papel a llevar

**Paso 1:**  
Declaración de producción de lotes

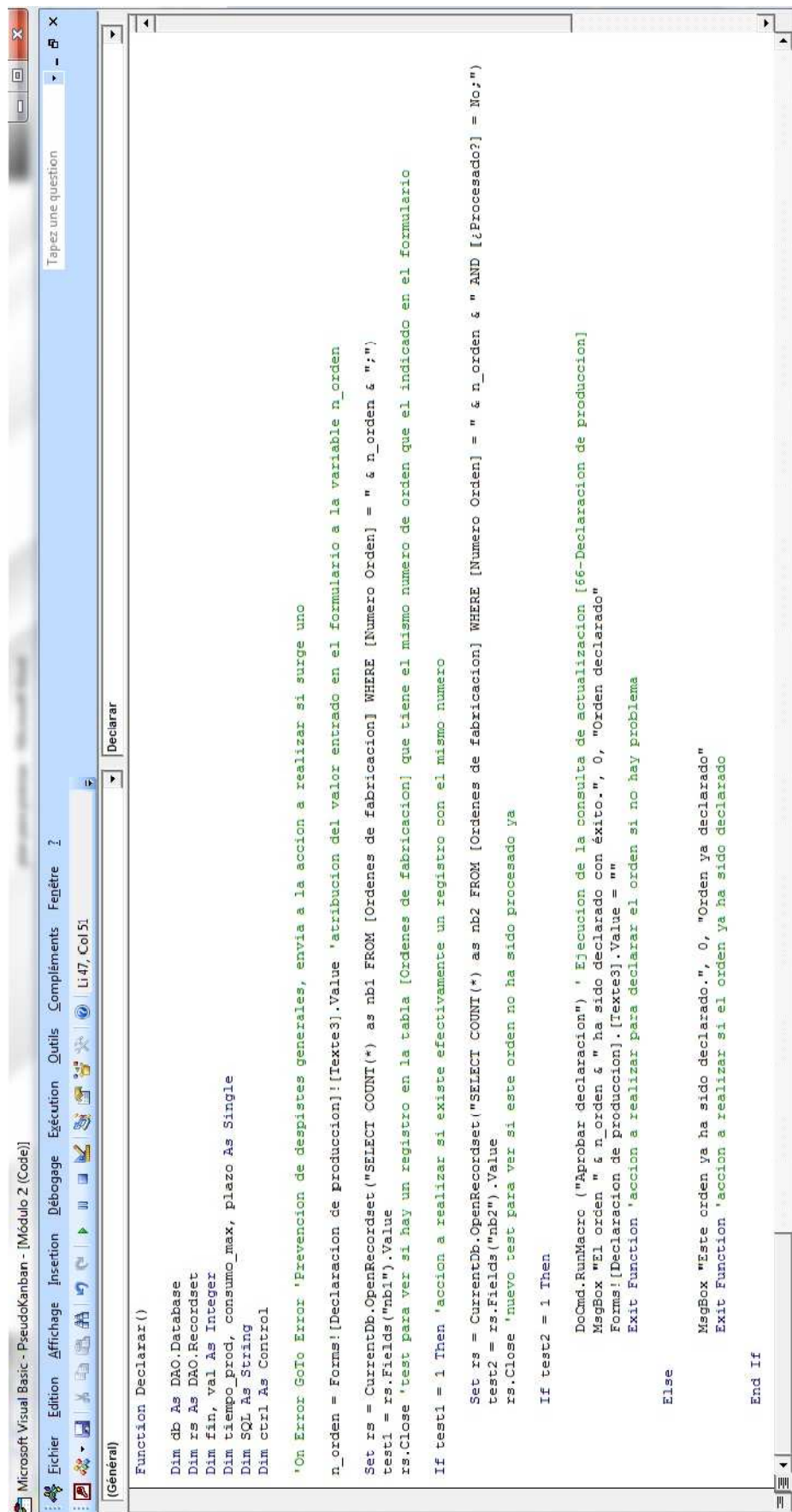
Origen de datos: Consulta [Consumo máx por línea]

Acción: Consulta con sintaxis SQL:

```
UPDATE [Ordenes de fabricacion] SET [Ordenes de fabricacion].[¿Procesado?] = Yes, [Ordenes de fabricacion].[Fecha fabricacion] = Date() & " " & Time()
WHERE ((([Ordenes de fabricacion].[¿Procesado?])=No) AND ((([Ordenes de fabricacion].[Numero Orden])=[Formulaires]![Declaracion de produccion]![Texte3]));
```

Destinación de datos: Consulta [Bucle]

DECLARACIÓN DE PRODUCCIÓN



```

Function Declarar()
    Dim db As DAO.Database
    Dim rs As DAO.Recordset
    Dim fin, val As Integer
    Dim tiempo_prod, consumo_max, plazo As Single
    Dim SQL As String
    Dim ctrl As Control

    'On Error GoTo Error 'Prevision de despistes generales, envia a la accion a realizar si surge uno

    n_orden = Forms![Declaracion de produccion].[Texte3].Value 'atribucion del valor entrado en el formulario a la variable n_orden

    Set rs = CurrentDb.OpenRecordset("SELECT COUNT(*) as nb1 FROM [Ordenes de fabricacion] WHERE [Numero Orden] = " & n_orden & ";")
    test1 = rs.Fields("nb1").Value
    rs.Close 'test para ver si hay un registro en la tabla [Ordenes de fabricacion] que tiene el mismo numero de orden que el indicado en el formulario

    If test1 = 1 Then 'accion a realizar si existe efectivamente un registro con el mismo numero

        Set rs = CurrentDb.OpenRecordset("SELECT COUNT(*) as nb2 FROM [Ordenes de fabricacion] WHERE [Numero Orden] = " & n_orden & " AND [¿Procesado?] = No;")
        test2 = rs.Fields("nb2").Value
        rs.Close 'nuevo test para ver si este orden no ha sido procesado ya

        If test2 = 1 Then

            DoCmd.RunMacro ("Aprobar declaracion") ' Ejecucion de la consulta de actualizacion [66-Declaracion de produccion]
            MsgBox "El orden " & n_orden & " ha sido declarado con éxito.", 0, "Orden declarado"
            Forms![Declaracion de produccion].[Texte3].Value = ""
            Exit Function 'accion a realizar para declarar el orden si no hay problema

        Else

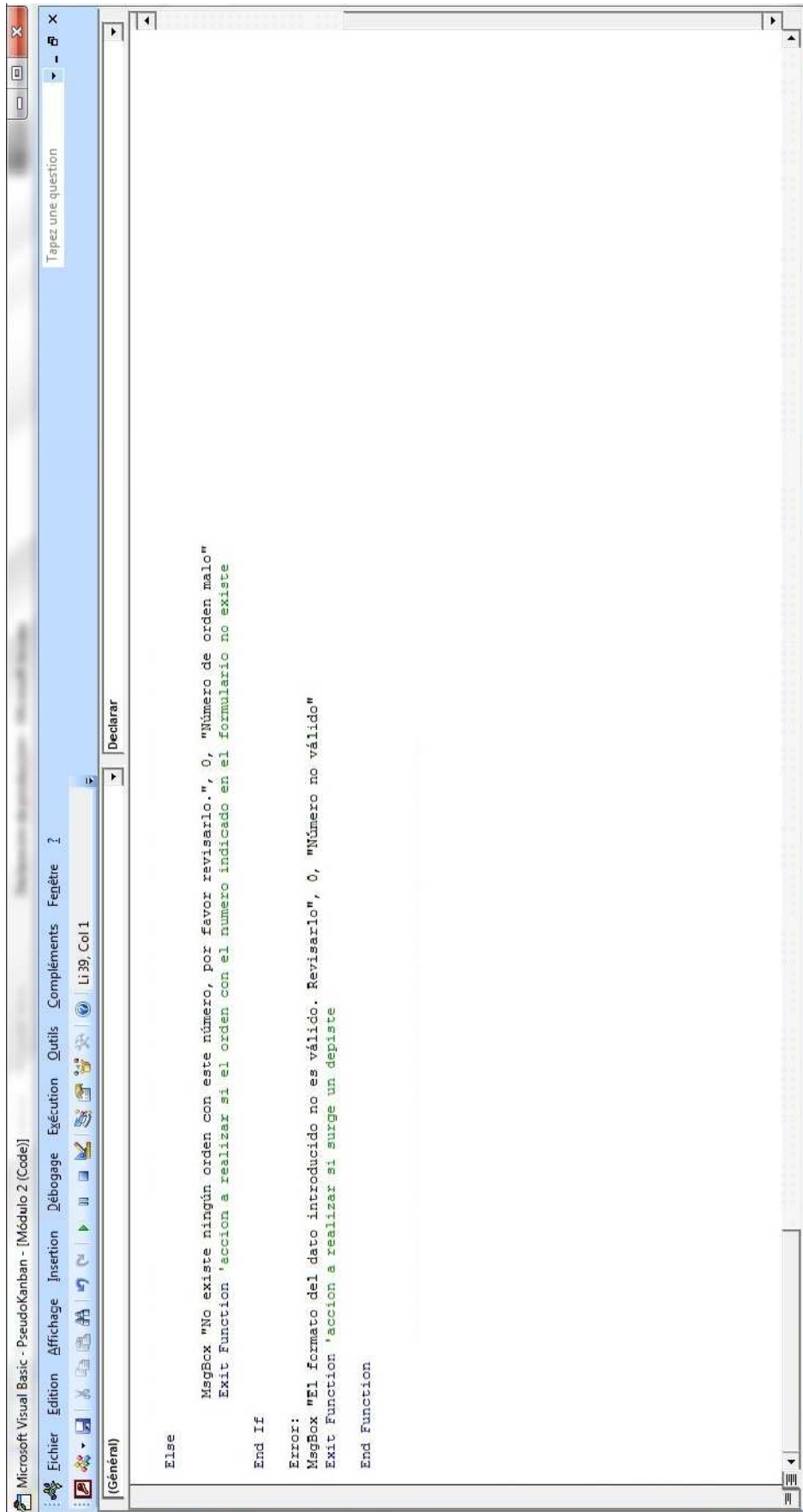
            MsgBox "Este orden ya ha sido declarado.", 0, "Orden ya declarado"
            Exit Function 'accion a realizar si el orden ya ha sido declarado

        End If

    End If

```

## II-Código Visual Basic del algoritmo de la herramienta 1



Microsoft Visual Basic - PseudoKanhon - [Módulo 2 (Code)]

File Edit View Insertion Debugging Execution Tools Complements Fenêtre ?

Tappez une question

Declarar

```
Else  
  
    MsgBox "No existe ningún orden con este número, por favor revisarlo.", 0, "Número de orden malo"  
    Exit Function 'accion a realizar si el orden con el numero indicado en el formulario no existe  
  
End If  
  
Error:  
MsgBox "El formato del dato introducido no es válido. Revisarlo", 0, "Número no válido"  
Exit Function 'accion a realizar si surge un depiste  
  
End Function
```

### III- Algoritmo de secuenciación de la herramienta 2

Para  $i = 1$  a  $n$

$$T_{prod_i} = T_{off_i} + cantidad_i \times T_{unitario_i}$$

$$C_{prod_i} = cantidad_i$$

$$T_{Total_i} = T_{Total_{i-1}} + T_{prod_i}$$

$$Total\_producir_{j \geq i} \text{ y } Material_j = Material_i = Total\_producir_i - cantidad_i$$

Si  $T_{Total_i} < Plazo_{i+1}$  Then

$$Extra\_T_i = Plazo_{i+1} - T_{Total_i}$$

$$\text{Si } Total\_producir_i > E\left(\frac{Total\_producir_i}{T_{prod_i}}\right)$$

$$Extra\_C_i = E\left(\frac{Extra\_T_i}{T_{prod_i}}\right)$$

Si no

$$Extra\_C_i = Total\_producir_i$$

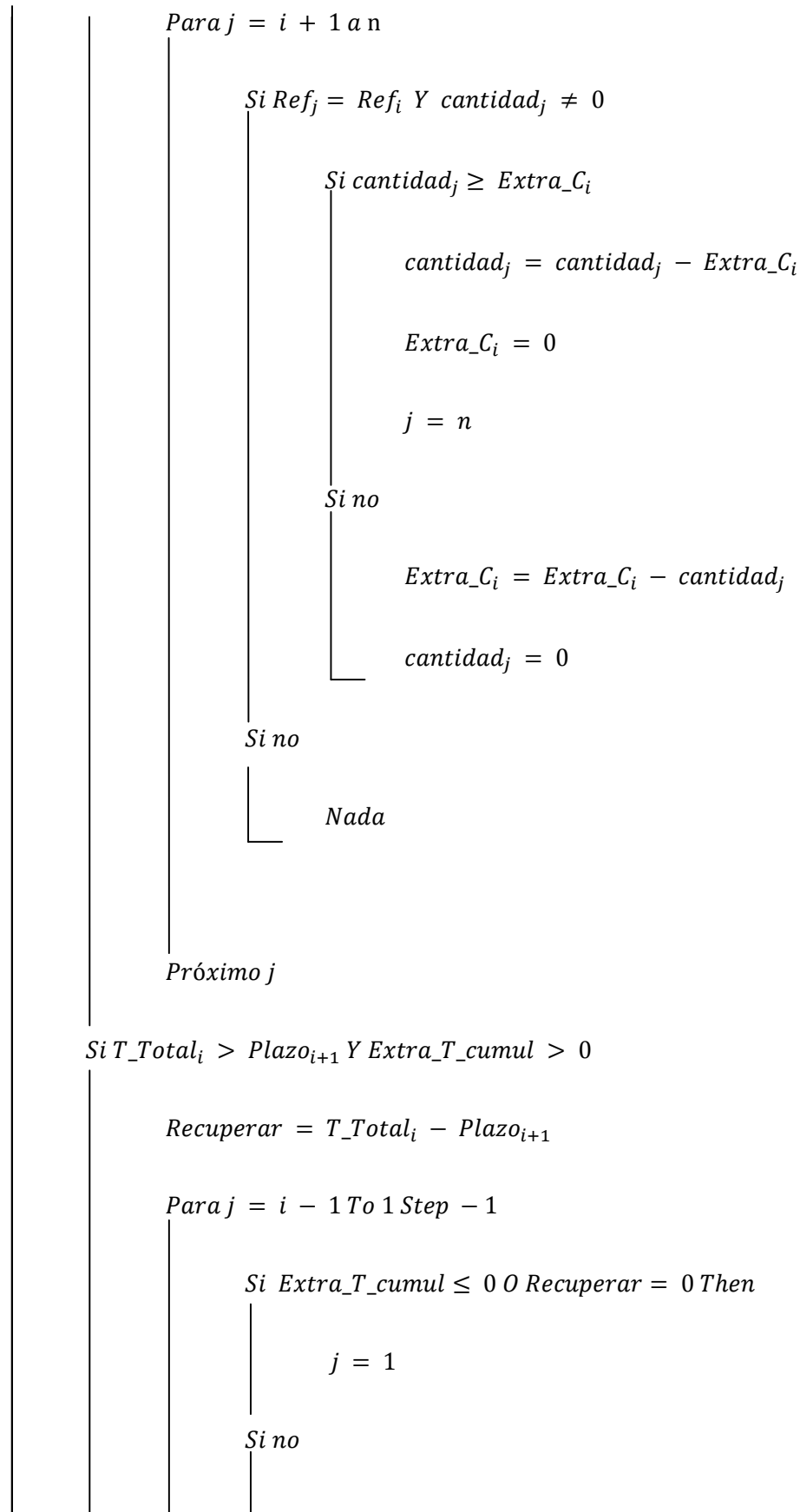
$$Extra\_T_i = Extra\_C_i \times T_{prod_i}$$

$$C_{prod_i} = C_{prod_i} + Extra\_C_i$$

$$Total\_producir_{j \geq i} = Total\_producir_i - Extra\_C_i$$

$$T_{prod_i} = T_{prod_i} + Extra\_T_i$$

$$T_{Total_i} = T_{Total_i} + Extra\_T_i$$



```
Si Extra_Tj = 0
|
|   Nada
|
Si no
|
|   Si Extra_Tj > Recuperar
|   |
|   |   Extra_Tj = Extra_Tj - Recuperar
|   |
|   |   Recuperar = 0
|   |
|   Si no
|   |
|   |   Recuperar = Recuperar - Extra_Tj
|   |
|   |   Extra_Tj = 0
|   |
|
varc = Extra_Cj

Extra_Cj = E \left( \frac{Extra_Tj}{T_{unitario_j}} \right)

varc = varc - Extra_Cj

Extra_Tj = Extra_Cj * T_procj

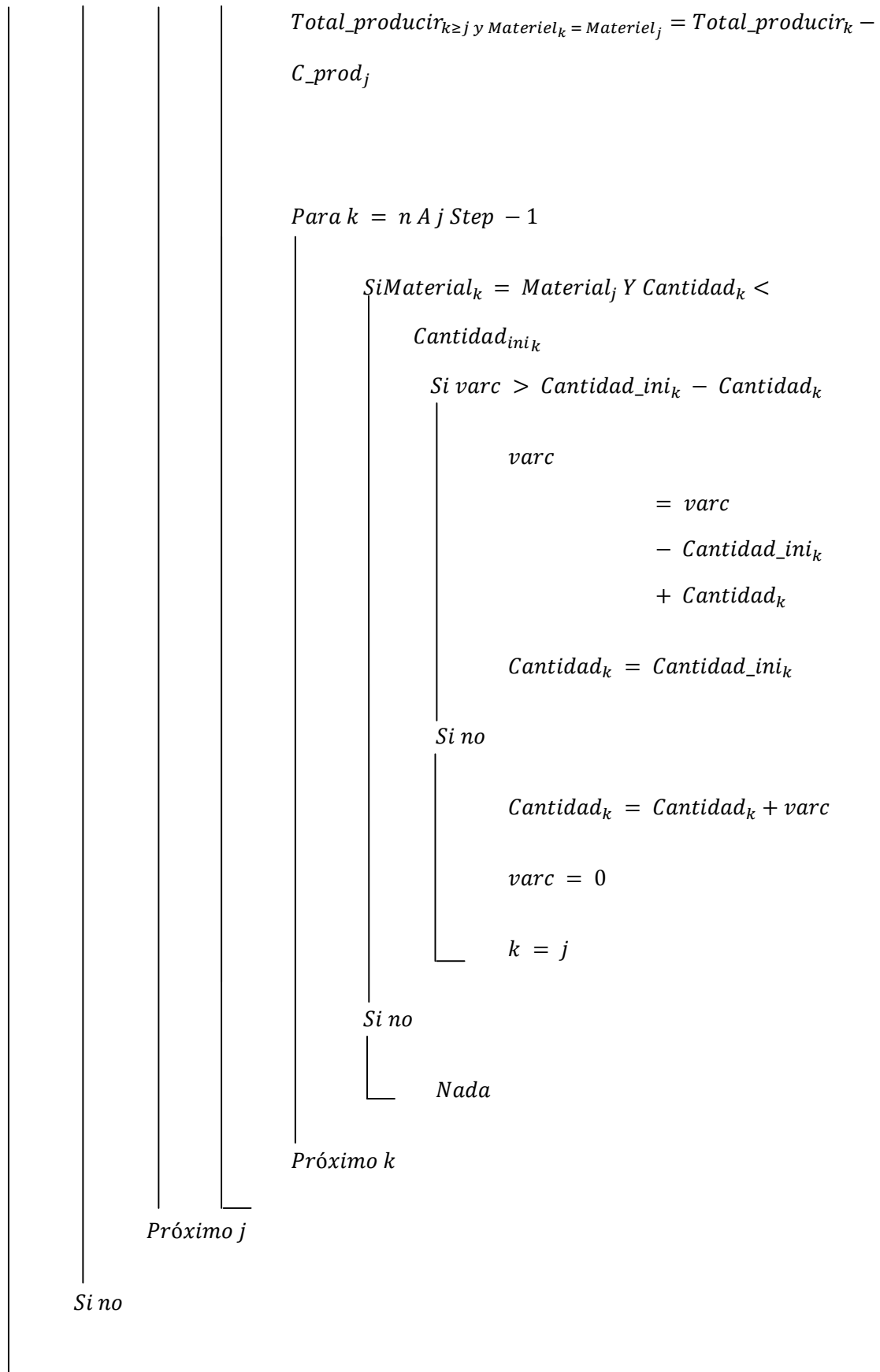
vart = vart - Extra_Tj

C_prodj = C_prodj - varc

T_prodj = C_prodj - vart

Extra_T_cumul = Extra_T_cumul - vart

T_Total_{j \leq k \leq i} = T_Total_k - vart
```



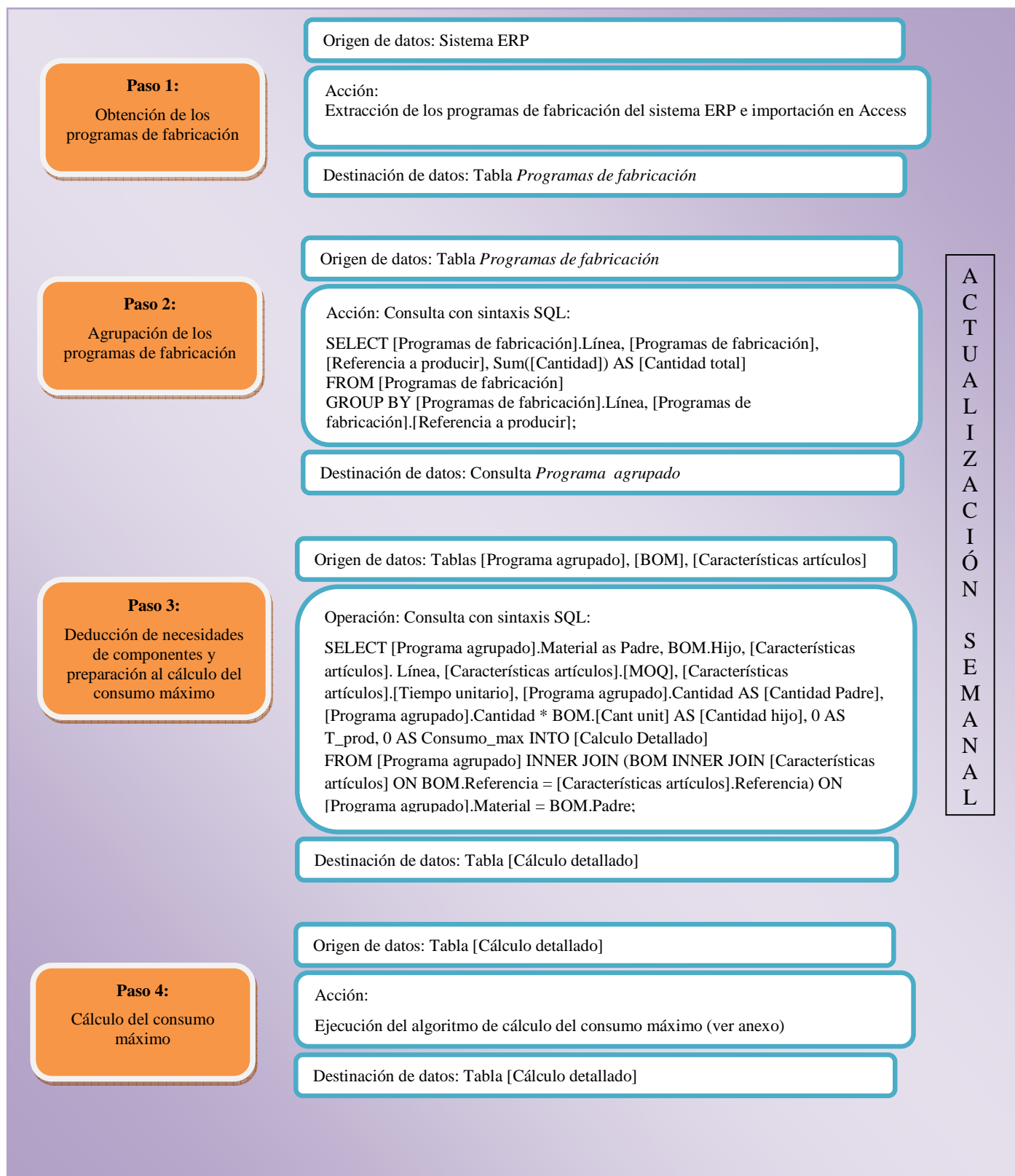


---

|                  |  |             |
|------------------|--|-------------|
|                  |  | <i>Nada</i> |
| <i>Próximo i</i> |  |             |



## IV-Resumen de los pasos realizados por la base de datos de la herramienta 3



A  
C  
T  
U  
A  
L  
I  
Z  
A  
C  
I  
Ó  
N  
  
S  
E  
M  
A  
N  
A  
L



**Paso 5:**

Selección del consumo máximo de cada hijo en cada una de las líneas

Origen de datos: Tabla [Cálculo detallado]

Sintaxis SQL:

```
SELECT CalculoDetallado.Hijo, CalculoDetallado.Línea, CalculoDetallado.MOQ,
Max(CalculoDetallado.Consumo_max) AS MáxdeConsumo_max
FROM [Calculo Detallado];
```

Destinación de datos: Consulta [Consumo máx por línea]

Origen de datos: Consulta [Consumo máx por línea]

Sintaxis SQL:

```
SELECT [Consumo máx por línea].Hijo, [Consumo máx por línea].MOQ,
Sum([Consumo máx por línea].MáxDeConsumo_max) AS [Consumo total posible]
FROM [Consumo máx por línea];
```

Destinación de datos: Consulta [Consumo máx global]

**Paso 6:**

Obtención del consumo máximo de cada hijo global

**Paso 7:**

Establecimientos de las cantidades de componentes a llevar

Origen de datos: Consulta [Consumo máx por línea]

Sintaxis SQL:

```
SELECT [Consumo máx por línea].Hijo, [Consumo máx por línea].MOQ,
Sum([Consumo máx por línea].MáxDeConsumo_max) AS [Consumo total posible], [Stock].Fábrica, [Stock].Consigna
FROM [Consumo máx por línea] INNER JOIN [Stock] ON [Consumo máx por línea].Hijo = [Stock].Material
GROUP BY [Consumo máx por línea].Hijo, [Consumo máx por línea].MOQ,
[Stock].Fábrica, [Stock].Consigna
HAVING (((Sum([Consumo máx por línea].MáxDeConsumo_max))>[Fábrica])
AND ((([Stock].Consigna)>0)));
```

Destinación de datos: Consulta [Bucle]

Origen de datos: Consulta [Consumo máx por línea]

Acción: Consulta con sintaxis SQL:

```
SELECT [103-Bucles para consignacion].Material, [103-Bucles para consignacion].[Cantidad a llevar] AS Cajas, [103-Bucles para consignacion].[A Descontar] AS Necesidad, [103-Bucles para consignacion].Stock AS [Stock actual], [103-Bucles para consignacion].Consigna AS [Stock en consignacion]
FROM [103-Bucles para consignacion]
WHERE ((([103-Bucles para consignacion].[A Descontar])>[Consigna]));
```

Destinación de datos: Consulta [Bucle]

**Paso 8:**

Detección de previsión de faltas



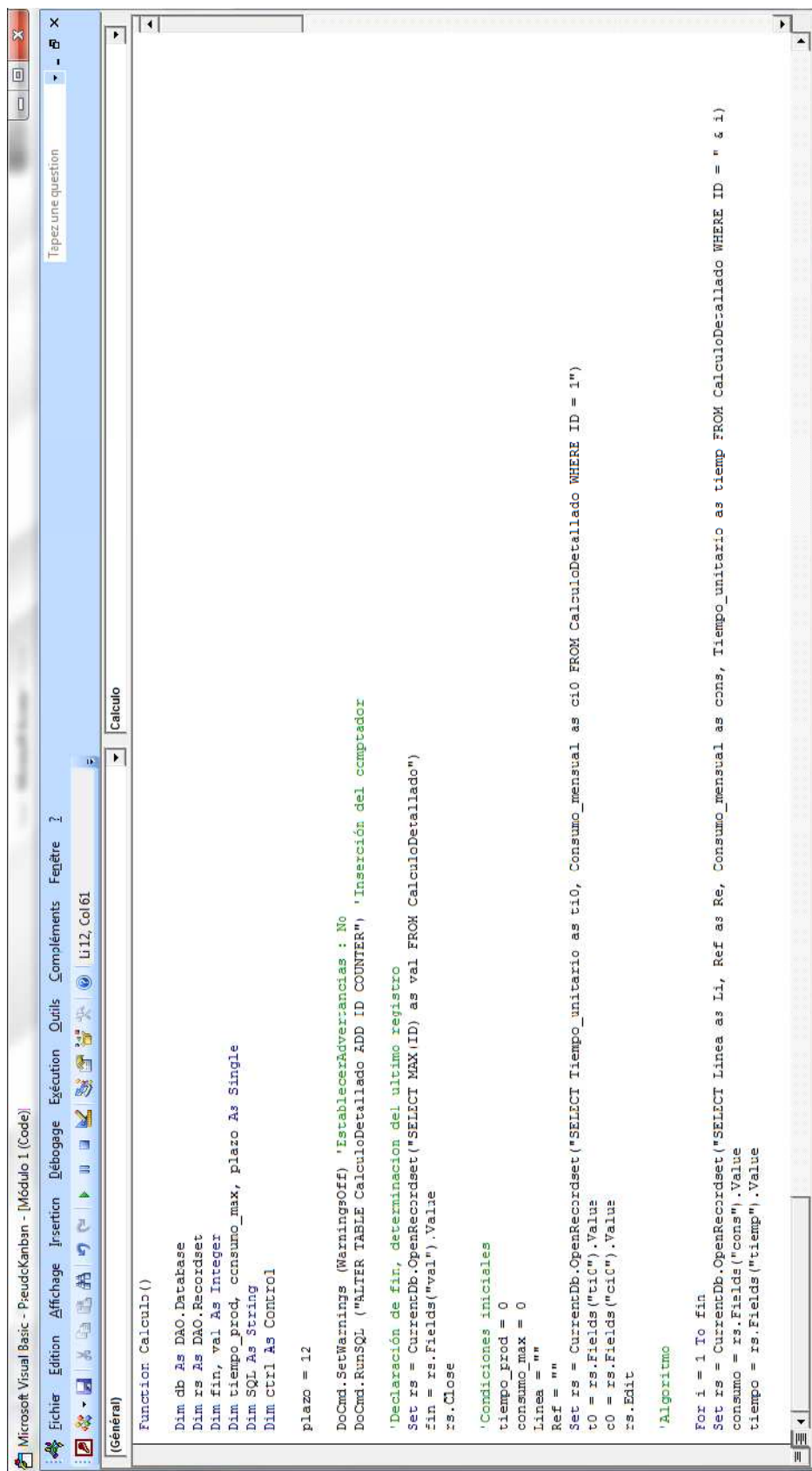
**Paso 9:**

Realización e impresión  
de los informes

Origen de datos: Consulta [Bucle]

Acción: Realización de los informes

Destinación de datos: Hojas de papel a llevar



```

Function Calculo()
    Dim db As DAO.Database
    Dim rs As DAO.Recordset
    Dim fin, val As Integer
    Dim tiempo_prod, consumo_max, plazo As Single
    Dim SQL As String
    Dim ctrl As Control

    plazo = 12

    DoCmd.SetWarnings (WarningsOff) 'Establecer Advertencias : No
    DoCmd.RunSQL ("ALTER TABLE CalculoDetallado ADD ID COUNTER", 'Inserción del computador

    'Declaración de fin, determinación del último registro
    Set rs = CurrentDb.OpenRecordset("SELECT MAX(ID) as val FROM CalculoDetallado")
    fin = rs.Fields("val").Value
    rs.Close

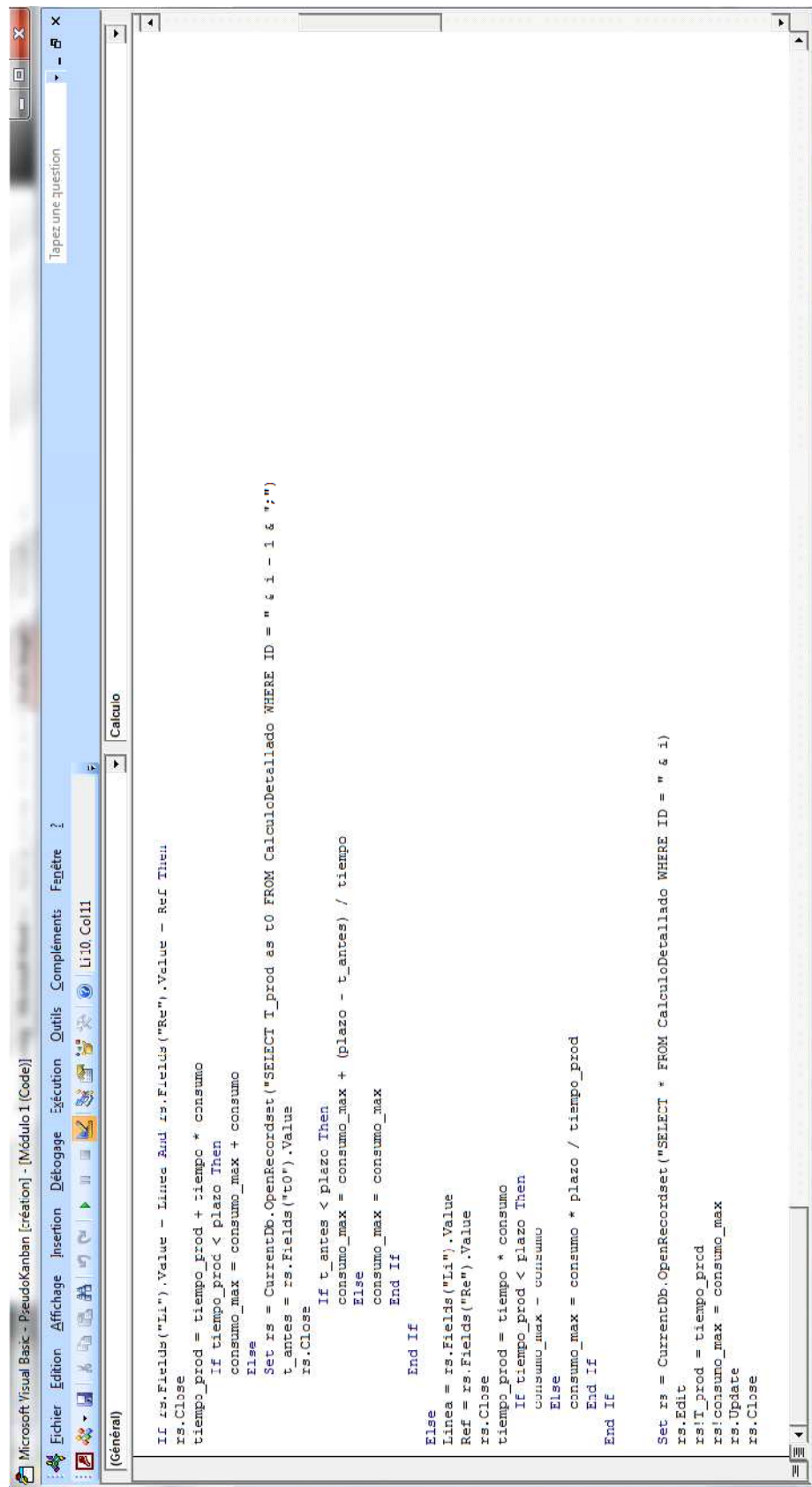
    'Condiciones iniciales
    tiempo_prod = 0
    consumo_max = 0
    Línea = ""

    Ref = ""
    Set rs = CurrentDb.OpenRecordset("SELECT Tiempo_unitario as tio, Consumo_mensual as cio FROM CalculoDetallado WHERE ID = 1")
    tio = rs.Fields("tio").Value
    cio = rs.Fields("cio").Value
    rs.Edit

    'Algoritmo

    For i = 1 To fin
        Set rs = CurrentDb.OpenRecordset("SELECT Línea as Li, Ref as Re, Consumo_mensual as cons, Tiempo_unitario as tiemp FROM CalculoDetallado WHERE ID = " & i)
        consumo = rs.Fields("cons").Value
        tiempo = rs.Fields("tiemp").Value
    
```

### V-Código Visual Basic del algoritmo de la herramienta 3



```
Microsoft Visual Basic - Pseudokarban [création] - [Módulo 1 (Code)]
Fichier Edition Affichage Insertion Débogage Exécution Outils Compléments Fenêtre ?
Tapez une question
Calculo
Général
If rs.Fields("Li").Value = Linea And rs.Fields("Re").Value = Ref Then
rs.Close
tiempo_prod = tiempo_prod + tiempo * consumo
If tiempo_prod < plazo Then
consumo_max = consumo_max + consumo
Else
Set rs = CurrentDb.OpenRecordset("SELECT I_prod as t0 FROM CalculoDetallado WHERE ID = " & i - 1 & ";")
t_antes = rs.Fields("t0").Value
rs.Close
If t_antes < plazo Then
consumo_max = consumo_max + (plazo - t_antes) / tiempo
Else
consumo_max = consumo_max
End If
End If
Else
Linea = rs.Fields("Li").Value
Ref = rs.Fields("Re").Value
rs.Close
tiempo_prod = tiempo * consumo
If tiempo_prod < plazo Then
consumo_max = consumo_max + consumo
Else
Set rs = CurrentDb.OpenRecordset("SELECT * FROM CalculoDetallado WHERE ID = " & i)
rs.Edit
rs!_prod = tiempo_prod
rs!consumo_max = consumo_max
rs.Update
rs.Close
```

